



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

MAAPERÄN VAIKUTUS PURON RANTAVYÖHYKKEEN MIKROBEIHIN

NIINA RANTALA

KAIVANNAISALAN YKSIKKÖ
GEOTIETEIDEN KOULUTUSOHJELMA

Pro gradu

Kesäkuu 2019

TIIVISTELMÄ

OPINNÄYTETYÖSTÄ Oulun yliopisto Teknillinen tiedekunta

Koulutusohjelma (kandidaatintyö, diplomityö) Geotieteiden koulutusohjelma		Pääaineopintojen ala (lisensiaatintyö) Maaperägeologia	
Tekijä Rantala, Niina		Työn ohjaaja yliopistolla Sarala, P, Professori	
Työn nimi Maaperän vaikutus puron rantavyöhykkeen mikrobeihin			
Opintosuunta Maaperägeologia	Työn laji Pro Gradu	Aika Kesäkuu 2019	Sivumäärä 80 s. + 11 s. liitteitä
Tiivistelmä Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää, kuinka maaperän ominaisuudet vaikuttavat purojen rantavyöhykkeiden mikrobeihin, erityisesti bakteereihin. Lisäksi tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella pyrittiin arvioimaan, voiko maaperän kosteusindeksiä käyttää perusteena puron suojavyöhykkeen määrittämisessä. Tutkimus suoritettiin monivaiheisesti kesän 2018 – kevään 2019 aikana. Tutkimusnäytteet kerättiin kuuden eri metsäpuron varrelta Pudasjärven alueelta. Jokaisen puron rannasta mitattiin neljä tutkimuslinjaa, joista kaksi oli kuivaa ja kaksi kosteaa. Kaikilta tutkimuslinjoilta otettiin neljä näytettä 1 m, 3 m, 9 m ja 20 m etäisyyksiltä. Kenttätutkimusten jälkeen näytteille suoritettiin kvantitatiivisia ja kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä, joihin lukeutuvat mm. maaperäanalyysit ja R-pohjaisella koodausohjelmalla tehdyt Enfit- ja Bioenv-analyysit. Analyyseista saatujen tulosten perusteella pystyttiin varmistumaan, että mikrobiyhteisöjen määrä ja runsaus korreloi erityisen vahvasti alueen kosteuden kanssa. Sekä kvantitatiivisten tilastollisten että visuaalisten tulosten perusteella pystyttiin toteamaan, että mitä kauemmas puron rannasta siirrytään, sitä suurempi merkitys kosteudella on. Mikrobiyhteisöjen määrä ja runsaus oli sitä suurempi, mitä kosteampi tutkimuslinja oli. Maaperän olosuhteet puolestaan vaikuttivat siihen, kuinka kosteaa alueella oli. Orgaaninen maaperä sisältää runsaasti bakteerien käytettävissä olevia ravinteita ja sitoo hyvin kosteutta itseensä, mikä on bakteerien lisääntymisen ja selviytymisen kannalta hyvin oleellista. Maaperän vaikutus korostui kauimmaisissa näytepisteissä, koska siellä puron läheisyys ei enää vaikuttanut niin paljon alueen kosteuteen. Tutkimuksen valossa voidaan todeta, että vaikka puroille on määritetty suojavyöhyke, se ei välttämättä riitä estämään esim. lähellä tapahtuvien hakkuutöiden vaikutusta puroon ja sen mikrobilajistoon. Avohakkuilla on todennäköisesti kuivattava vaikutus ranta-alueisiin, mikä puolestaan voi heijastua paikalliseen lajistoon ja ekosysteemitointoihin.			

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	1
2 RANTAMETSÄT	2
3 PUROJEN ERITYISPIIRTEET	4
4 PURON JA RANTAMETSÄN GEOKEMIAALLISET OMINAISUUDET	5
4.1 Purovesien laatu.....	6
4.2 Sähkönjohtavuus.....	7
4.3 Happamuus ja pH	7
4.4 Alkaliteetti	8
5 MAAPERÄ JA MIKROBIT	9
5.1 Mineraalimaan ja mikrobien vuorovaikutus.....	9
5.1.1 Bakteerit	10
5.2 Orgaanisen aineksen hajoaminen	11
5.3 Maaperän ominaisuuksien vaikutus bakteereihin.....	12
5.3.1 Maaperän pH:n vaikutus bakteereihin.....	12
5.3.2 Maaperän kosteuden vaikutus bakteereihin	13
6 TUTKIMUSALUE.....	13
6.1 Tutkimuspurojen erityispiirteet	16
7 TUTKIMUSMENETELMÄT.....	33
7.1 Maastotyöt	34
7.2 Laboratorioanalyysit ja DNA-eristys	36
7.3 Geologiset analyysit	37
7.3.1 Humuspitoisuus.....	38
7.3.2 Rakeisuus	41
7.3.3 Partikkelianalyysaattori.....	42
7.4 Tilastollinen analyysi.....	43
8 TULOKSET	45
8.1 Purokohtaiset maaperän geologiset ominaisuudet.....	45
8.1.1 Hehkutushäviö.....	45
8.1.2 Raekoko.....	46
8.1.3 Hienoainespitoisuus	47
8.1.4 Laboratorioanalyysit.....	50
8.1.5 pH-arvo, sähkönjohtavuus, TOC.....	55
8.2 Ympäristömuuttujien vaikutus maaperäbakteerien yhteisörakenteeseen	56

8.2.1 Envfit -analyysien tulokset.....	59
9 TULOSTEN TULKINTA	63
9.1 Purokohtaisten maaperän geologisten ominaisuuksien tulkinta.....	63
9.1.1 Tutkimuspurojen näytepisteiden analyysitulosten välinen korrelaatio	63
9.1.2 Tutkituista näytteistä määritettyjen maalajien välinen korrelaatio	67
9.2 Ympäristömuuttujien vaikutus maaperäbakteerien yhteisörakenteeseen	68
10 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	70
11 KIITOKSET	72
LÄHTEET	73

LIITTEET:

LIITE 1. Tutkimusnäytteiden raekokoseulontojen tulokset (1/3)

LIITE 2. Partikkelianalysointori Anton Paar raekokoanalyysi HAA2D (1/2)

LIITE 3. Partikkelianalysointori Anton Paar raekokoanalyysi HAA3D (1/2)

LIITE 4. Partikkelianalysointori Anton Paar raekokoanalyysi HAU4D (1/2)

LIITE 5. Tutkimuspurojen tutkimuslinjojen näytteiden analyysitulokset.

1 JOHDANTO

Joki- ja purovarsien metsät ovat biodiversiteetin kannalta tärkeitä ekosysteemejä. Niiden lajimäärät sekä lajien monipuolisuus ovat poikkeuksetta muita metsäalueita runsaampia, mikä puolestaan lisää alueellista monimuotoisuutta (Naiman & Decamps 1997; Sabo ym. 2005). Erityisesti sellaiset jokivarsialueet, joilta purkautuu pohjavettä, ovat ekologisesti ja biokemiallisesti merkittäviä alueita. On havaittu, että pohjaveden purkautumisalueilla mm. putkilokasvit ja sammallajit pystyvät ylläpitämään korkeaa lajien määrää rantametsissä, vaikka ne sijaitsisivat kauempana valuma-alueen pääuomasta (Kuglerova ym. 2006). Pohjavesien purkautumisalueet ylläpitävät näin ollen kauempana valuma-alueen pääuomilta olevien puroalueiden biodiversiteettiä. Myös puron tulvimisesta ja jäiden muodostuksesta aiheutuvat häiriöt ylläpitävät rantametsän monimuotoisuutta (Kuglerova ym. 2006; Jansson ym. 2007).

Rantametsät ovat kuitenkin vaarantuneet mm. metsätalouden takia. Hakkuut aiheuttavat alueen lajimäärien laskua sekä muutoksia eliöyhteisöissä ja hydrologiassa. Tämän takia jokivarsialueiden metsän hoitoon tulisi kiinnittää tarkemmin huomiota ja pyrkiä kehittämään alueiden puskurointivyöhykkeitä. Perinteisesti puskurivyöhykkeillä on pyritty suojaamaan vesistöjen veden laatua kiintoaine- ja ravinnekuormalta. Puskurivyöhykkeellä ei tehdä maanmuokkausta ja muutenkin vältetään maan pinnan rikkomista. Puskurivyöhykkeitä voisi kuitenkin käyttää veden laadun ylläpitämisen lisäksi vesistön ja rantametsän biodiversiteetin suojelemiseen huomioiden erityisesti rantametsän kosteat alueet, jos niillä on erityisiä suojeltavia luontoarvoja. Tällöin puskurivyöhykkeet voisivat olla vaihtelevan levyisiä: kosteilla alueilla leveämpiä ja kuivemmilla kapeampia. (Kuglerova ym. 2014)

Tähän asti jokivarsialueiden hakkuukartoitukset on tehty silmämääräisesti etukäteissuunnittelun sijasta. Tällöin ekologisesti merkittävät kosteat alueet saattavat jäädä tunnistamatta esimerkiksi lumipeitteen takia. Paikkatietoaineistoja hyödyntämällä olisi mahdollista suunnitella suojavyöhykkeet rannan kosteusolosuhteita mukaillen vaihtelevan levyisiksi. Kosteat alueet ja vesien virtausreitit voidaan laskea digitaalisilla mallinnusmenetelmillä sillä oletuksella, että topografia kontrolloi veden liikettä, ja että pohjaveden pinta noudattelee maanpintaa. Laserkeilaus eli LiDAR-aineistoon (Light

Detection and Ranging) pohjautuvan topografisen kosteusindeksin avulla voitaisiin määrittää aluespesifinen suojavyöhyke, joka tarjoaa yksityiskohtaista tietoa kosteudesta ja veden virtausreiteistä. Aluespesifisissä suojavyöhykkeissä korostuisivat kosteat pohjavesien purkautumisalueet, kun taas ekologisesti vähemmän merkittävät kuivat alueet olisivat kapeampia. (Kuglerova ym. 2014)

Aiemmat muualla tehdyt tutkimukset viittaavat siihen, että kosteat rantametsän alueet ovat kasvilajistoltaan monimuotoisempia kuin kuivat alueet (Kuglerova ym. 2016). On oletettavaa, että rannan kosteusolosuhteiden vaihtelu ja kasvilajiston vaihtelu vaikuttavat myös muuhun eliöstöön, esimerkiksi mikrobeihin. Tämä pro gradu -työ pyrkii tuottamaan uutta tietoa rantametsien mikrobiyhteisöistä ja niihin vaikuttavista ympäristötekijöistä. Rantametsien kosteusolosuhteisiin, kuten myös mikrobilajistojen runsauteen sekä monipuolisuuteen vaikuttavat oletettavasti maaperän koostumus ja rakenne ja kivennäismaalajien mineralogia sekä mineraaliaineksen kemialliset ominaisuudet. Paikallinen topografia ja maaperäsedimenttien laatu puolestaan vaikuttavat pohjaveden muodostumiseen ja kulkeutumiseen. On myös todennäköistä, että mikrobien hajotustoiminnassa kosteilla ja kuivilla alueilla on eroa, ja metsän käsittely lähellä rantaa saattaa vaikuttaa eri tavalla kosteiden ja kuivien ranta-alueiden mikrobiyhteisöihin ja ekosysteemitointoihin.

2 RANTAMETSÄT

Rantametsät ovat vesistöjen, kuten jokien tai purojen, läheisyydessä sijaitsevia metsävyöhykeitä. Samalla ne ovat eräänlaisia vaihtumisvyöhykeitä vesi- ja maaympäristöjen välillä. Kosteus on rantametsien elinympäristöille tunnusomaista, sillä tulvavesi huuhtelee maaperää säännöllisesti (Broadmeadow & Nisbet 2004). Lisäksi lämpötilavaihtelut ovat ylänköalueisiin nähden pienempiä. Alueen kasvi- ja eläinlajit ovat sopeutuneet vallitseviin olosuhteisiin; tulvimiseen, tulvavesien kuljettamiin sedimenttilasteihin ja virtauksen aiheuttamaan abraasioon (Naiman ym. 1998). Spesifeistä olosuhteista huolimatta rantametsät ovat hyvin lajirikkaita ja lajit ovatkin sopeutuneet monin keinoin ympäröivään alueeseen. Purojen tulvimisherkkyyys vaikuttaa rantametsän monimuotoisuuteen ja ekosysteemiprosesseihin, sillä esim. monet kasvit levittävät siemeniään tulvaveden mukana (Nilsson ym. 2010).

Sellaiset prosessit, kuten primäärituotanto ja biogeokemillinen kierto liittyvät olennaisesti ekosysteemikokonaisuuksiin (Brinson & Reinhardt 1996). Rantametsät ovatkin eräitä merkittävimpiä ekosysteemejä niihin liittyvien biogeokemiallisten kiertojen, monimuotoisuuden ja mikroilmaston takia. Rantametsien mikroilmasto poikkeaa selvästi ylämetsään nähden. Vesistöstä ja virtauksesta johtuen mikroilmasto on rantametsissä kosteaa, joka puolestaan vaikuttaa siihen, että rantametsän eliöstö on usein lajirikkaampaa, kuin kauempana vesistöstä. Rantametsät tarjoavat tärkeitä elinympäristöjä useille eri lajeille (Brosofske ym. 1997).

Useiden lajien elinympäristön ja monimuotoisuuden lisäksi rantametsillä on myös muita tärkeitä merkityksiä. Sedimenttejä kulkeutuu valumavesiin useista eri lähteistä, kuten viljelysmailta, rakennusalueilta ja eroosion kautta. Vesien mukana kulkeutuvilla sedimenteillä voi olla monenlaisia haitallisia vaikutuksia. Ne voivat samentaa vettä, aiheuttaa ongelmia vesieliöille ja esimerkiksi kerrostua haitallisissa määrin uoman pohjalle, joka puolestaan voi vaikuttaa pohjaeläinten elinympäristöön negatiivisesti. Rantametsät voivat ehkäistä sedimenttikuorman pääsyä vesistöön ja ne toimivatkin eräänlaisina luonnollisina sedimenttisuodattimina. Tulvavesien kuljettamaa hienorakeista mineraaliainesta myös kerrostuu rantametsiin ylläpitäen ravinteikkuutta ja lisäten mineraaliaineksen määrää purojen varsilla. Hienoaineskerrostumat pidättävät osaltaan vettä lisäten maaperän kosteuspitoisuutta kauempana rantaviivasta. Samalla hienoaineskerrostumat toimivat puskurina puroon suotautuvalle vedelle vähentäen vesistöön päätyvää alkuaine- ja ravinnekuormaa (Rivenbark & Jackson 2004; Jones ym. 1999; Swank ym. 2001).

Rantametsät ovat myös tärkeässä roolissa tulvakontrollinnissa sekä veden laadun ylläpidossa. Kuten edellä mainittiin, tulvavedet huuhtelevat rantametsiä säännöllisesti. Erityisesti tulva-aikoina (kevät- ja syystulvat) rantametsät kykenevät tasaamaan tulvahuippuja ottamalla vesikuormituksen vastaan. Metsänpohja ja kasvillisuus hidastavat virtausta ja osa vedestä imeytyy maaperään ja varastoituu kosteikkoalueille. Näin ollen alajuoksun tulviminen vähenee, pohjavesivarastot täydentyvät ja puron perusvirtaus pysyy ennallaan (Anderson ym. 1976). Ravinteet, kuten typpi ja fosfori ovat välttämättömiä kasvien kasvun kannalta, mutta ihmislähtöisistä päästöistä, kuten lannoitteista ja jäteveden puhdistuksesta, niitä voi kertyä vesiin liikaa. Liiallinen

ravinnekuormitus voi esimerkiksi kiihdyttää levien kasvua tarpeettoman paljon, joka voi johtaa toisten vesikasvien häviämiseen. Rantametsät pystyvät sitomaan ravinteita kasvillisuuden ja maaperän ansiosta. Tutkimukset ovat osoittaneet, että rantametsät voivat vähentää jopa 88 % typpekuormitusta ja 76 % fosforikuormitusta, jonka maanviljely aiheuttaa valumavesiin (Lowrance ym. 1984).

3 PUROJEN ERITYISPIIRTEET

Purot on luokiteltu omaksi vesialueekseen vesilain mukaisesti (Vesilaki 3§). Purot ovat virtaavan veden vesistöjä, jotka eroavat joista pienemmän kokonsa vuoksi. Purojen määrittelyssä tärkeässä osassa on puron valuma-alue. Purojen valuma-alueet ovat kooltaan 10–100 km². Valuma-alueella tarkoitetaan sellaista aluetta, josta pinta- ja pohjavedet valuvat topografisesti alempana sijaitsevaan uomaan. Valuma-alue koostuu useista uomista, jotka on luokiteltu uoman koon perusteella. Valuma-alueen suurin uoma on pääuoma, joka on haarautunut pääuoman ympärille yläjuoksun suuntaan levittäytyviin sivu-uomiin. Sivuuomista voidaan erottaa suvanto-koskijaksot, joista voidaan edelleen erottaa mikrohabitaattiympäristöt, jotka ovat mineraalimaan ja kasvillisuuden peittämiä ympäristöjä (Frissel ym., 1986). Pienemmät uomat yhdistyvät isompiin uomiin, jotka lopulta yhdistyvät valuma-alueen pääuomaan. Valuma-alue päättyy tyypillisesti vesistöalueeseen, kuten järveen tai mereen, johon pääuoman vesi purkautuu. Valuma-alueita rajaavat maa- ja kallioperän ominaisuudet sekä maaston korkeuserot.

Purot ovat ainutlaatuisia elinympäristöjä, jotka ylläpitävät omalaatuista lajistoa. Purojen eliöstö eroaa isompien jokien eliöstöstä mm. siksi, että ne ovat riippuvaisia rantametsästä tulevasta energiasta. Purojen riippuvuutta rantametsien energiasta on havainnollistettu mm. jokijatkumohypoteesin avulla. Jokijatkumohypoteesi (Vannote ym. 1980) on teoria siitä, kuinka jokiekosysteemien latva-alueiden ja suiston välillä energialähteiden keskinäisissä osuuksissa, ravintoketjuissa sekä ravinteiden määrässä esiintyy vaihtelevuutta purojen luokkanumeroiden suuruuden perusteella. Purot voidaan luokitella purojen koon perusteella. Pienimmät purouomat sijoittuvat luokkiin 1-3. Ne ovat kapeita ja rantakasvillisuuden peittämiä. Peitteisyyden vuoksi auringonvalon vaikutus on vähäistä ja leväntuotanto rajoittunutta. Uomat sisältävät usein runsaasti karkeaa orgaanista ainesta. Purouomien luokittelussa luokkiin 4-6 kuuluvissa uomissa

vesikasvusto monipuolistuu lisääntyvän auringonvalon ja yläjuoksulta kulkeutuvien ravinteiden vaikutuksesta. Jokijatkumohypoteesin suurimmat puroumat kuuluvat luokkaan >7. Suurimpaan luokkaan kuuluvien purojen uomat ovat syviä ja leveitä. Tämän luokan uomissa rantametsien energialähteiden vaikutus on selkeästi pienempiä puroluokkia vähäisempi, sillä ekosysteemin toiminnan kannalta lehtipartikkeleiden ja muun orgaanisen aineksen osuus ei ole niin merkittävä, kuin pienemmissä uomissa. Sitä vastoin suuremmissa uomissa yläjuoksulta kulkeutuvien ravinteiden määrän merkittävyys kasvaa. (Allan & Castillo 2007; Vannote ym. 1980)

Purojen pienemmästä koosta huolimatta luonnontilaiset purot ovat usein erittäin monimuotoisia ja niitä voidaankin pitää biodiversiteetin niin kutsuttuina 'hot spotteina'. Purot tarjoavat elinympäristön monille uhanalaisille tai taantuville lajeille. Purojen luontoarvo on huomioitu ja niiden luonnontilaisuutta ja kunnostamista ohjataan erillisillä pienvesien suojelu- ja kunnostusstrategioilla. Strategiassa huomioidaan suojeluarvon lisäksi vesialueen kalataloudellinen merkittävyys, joka purojen kohdalla voi olla tärkeässä roolissa. Luonnontilaisten pienvesien määrä on Suomessa vähäinen, sillä varsinkin metsätalous on muuttanut purojen ainutlaatuista ekosysteemiä. Metsäpurojen tilaan vaikuttavat sekä suoraan purouomaan kohdistuvat että valuma-alueella tehtävät toimenpiteet. Kokonaisvesipinta-alaltaan pienvedet muodostavat pienen alueen, mutta lukumäärällisesti niitä on runsaasti. Pienvesien tarkkaa määrää on hankala arvioida, mutta niiden määrän kartoitus kehittyy jatkuvasti sitä mukaan, kun paikkatietoaineisto parantuu. Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämässä uomaverkostossa on esimerkiksi yli 10 km² virtaavien vesien uomista jokia 21 000 km ja puroja 52 000 km (Hämäläinen 2015).

4 PURON JA RANTAMETSÄN GEOKEMIALLISET OMINAISUUDET

Suomen puroekosysteemien tila on melko heikosti tunnettu, mutta yleistäen voidaan sanoa, että kokonaisia luonnontilaisia puroja valuma-alueineen on hyvin vähän. Purojen ja niiden valuma-alueisiin vaikuttavat useat eri tekijät. Esimerkiksi soiden ojittaminen on aiheuttanut huomattavia muutoksia pienvesien hydrologiaan ja vedenlaatuun. Tälläkin hetkellä merkittävimmät metsäpuroihin kohdistuvista vaikutuksista johtuvat valuma-alueilla tehtävistä ojituksista, metsän maapohjan muokkauksesta sekä rantametsien

hakkuista. Puuston hävittäminen mm. lisää maaperän kulumista ja vähentää lehvästön tuomaa varjostusta (Ahola & Havumäki 2008). Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan purovesien laatua, sekä purojen ja rantametsien geokemiallisia ominaisuuksia.

4.1 Purovesien laatu

Purovesien laatu on riippuvainen useasta eri tekijästä, joita ovat mm. alueen topografia, kallio- ja maaperän kivilaji- ja raekoostumus ja vedenjohtavuus sekä kasvillisuus. Lisäksi hydrometeorologiset olosuhteet, kuten sadanta ja haihdunta, vaikuttavat oleellisesti vedenlaatuun. Myös pintavesinä kulkeutuvat valumavedet vaikuttavat vedenlaatuun ja puroympäristöön kuljettamalla puroon ja sen rantavyöhykkeeseen kiintoainetta ja ravinteita. Isotooppitutkimuksin on pystytty osoittamaan, että valtaosa, noin 70-90 %, pintavalunnasta tulee puroon 10-20 metrin etäisyydeltä uomasta (Kullberg ym. 1993). Näin ollen purojen veden kemiallinen koostumus kuvastaa hyvin alueen maa- ja kallioperän geokemiallista luonnetta.

Suomessa purovesiin on liuennut verrattain vähän aineita. Toisaalta on huomioitava, että metsätalous, etenkin metsien kuivattaminen ojittamalla, aiheuttaa merkittävää ravinne- ja kiintoainekuormitusta vesistöihin. Metsätalouden vesistökuormitus on maatalouden jälkeen toiseksi suurin vesiämme pilaava tekijä, pienissä latvapuroissa merkittävin (Kenttämies & Mattsson 2006). Lauhkean ja kostean ilmaston vedet ovat Ca-HCO_3^- valtaisia johtuen peruskalliosta rapautuvista ja liukenevista kalsiummineraaleista. Lisäksi vesien humuspitoisuus on korkea. Eroja on kuitenkin nähtävissä veden ainessuhteissa ja liuenneiden aineiden määrässä rannikon ja sisämaan välillä. Rannikkoalueilla purovesiin voi olla liuenneena jopa 5-10 kertaa enemmän aineita kuin sisämaan vesiin. (Laaksonen & Malin 1984).

Purovesien laatu vaihtelee paljon vuodenaikojen mukaan. Liuenneita epäorgaanisia aineita esiintyy purovesissä kaikkein eniten kevättalvella ennen lumien sulamista, koska tällöin pohjavedestä koostuvan pohjavalunnan osuus on kokonaisvaluntaan nähden suuri. Lumien sulaessa keväällä ainesmäärät laimenevat ja niiden pitoisuudet vaihtelevat kesän ja syksyn sadannan mukaan. Talvella maan jälleen jäätyessä ja valuntaolosuhteiden

vakiintuessa pitoisuuden kasvavat. Purovesien tärkeimpiä yhdisteitä ja alkuaineita ovat mm. HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} ja Na^+ . Niiden pitoisuudet ovat kääntäen verrannollisia vesimäärän vaihteluihin. Kesällä kasvillisuus vaikuttaa ainepitoisuuksiin, kun se esim. hyödyntää pääosan nitraatista, ammoniumista ja kaliumista. Tällöin niiden määrät valunnassa pienenevät. (Geologian tutkimuskeskus 1996)

4.2 Sähkönjohtavuus

Veden sähkönjohtavuudella kuvataan siihen liuenneiden suolojen määrää. Purovesissä sähkönjohtavuuteen vaikuttavat valuma-alueiden hydrografinen luonne, topografia, kallioperän rakenne ja kivilajikoostumus, maaperän maalajisuhteet ja hienon lajitteen määrä moreenissa ja sedimenteissä. Nämä tekijät säätelevät veteen liuenneiden aineiden määrää maanpinta- ja pohjavalunnan kautta. Ihmistoiminnalla on myös merkittävä vaikutus purovesien sähkönjohtavuuteen. Esimerkiksi Etelä- ja Länsi-Suomessa, jonne on keskittynyt laajasti maataloutta, purovesien sähkönjohtavuus on yleisesti ottaen korkeampi siihen liuenneiden aineiden takia. Yleensä purovesien sähkönjohtavuus on 2–22 mS/m. Lukemat voivat kuitenkin vaihdella hyvin paljon aluekohtaisesti. Suurimmat mittausarvot ovat runsassavisilla valuma-alueilla Uudenmaan, Lounais-Suomen, Ahvenanmaan sekä Etelä- ja Keski-Pohjanmaan seuduilla. Pienimmät mittausarvot puolestaan sijoittuvat Sisä- ja Pohjois-Suomeen, jossa ne ovat noin 0,5 – 2,0 mS/m. Kallio- ja maaperän mineraalikoostumus vaikuttaa merkittävästi sähkönjohtavuuteen. Arkeeisten graniittigneissien alueilla Itä- ja Pohjois-Suomessa sähkönjohtavuus on yleensä noin 2-5 mS/m, mutta esimerkiksi karbonaattikivet voivat kohottaa sähkönjohtavuutta jopa 2-4-kertaiseksi ympäristöön verrattuna (Geologian tutkimuskeskus 1996).

4.3 Happamuus ja pH

Veden happamuus johtuu vetyioneista (H^+). Vetyionit voivat esiintyä vedessä vapaina hydratoituneina H_3O^+ -ioneina tai niiden polymeereina. Lisäksi vetyionit voivat olla sitoutuneina esimerkiksi mineraaleihin ja humusainekseen. Happamuutta kuvataan pH-luvulla, joka on vetyionikonsentraation logaritmin vastaluku. pH-arvolla määritetään

yleisesti veden happamuutta, mutta se ei kerro happamuuden alkuperää. Alkuperän voi selvittää analysoimalla veden anionit ja kationit. Luonnonvesissä esiintyviä pääkationeja ovat Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ ja K^+ ja niitä nimitetään emäskationeiksi. Kationit itsessään eivät neutraloi vetyioneja, mutta vetyionit voivat korvata emäskationeja maan ioninvaihtokomplekseissa. Tällöin protoneja vastaava määrä emäskationeja vapautuu maaliuokseen ja pH nousee. Puro- ja valumavesien happamuuteen vaikuttavat monet eri tekijät, kuten sadeveden määrä ja koostumus sekä alueen kasvillisuus. Latvapurojen pH-arvot ovat yleensä 4,7–6,6. Alueelliset vaihtelut purovesien happamuudessa johtuvat pitkälti valuma-alueiden kallioperästä. Keski- ja Itä-Suomessa karkearakeiset mineraalimaat sisältävät niukasti Ca- ja Mg-ioneja, joka laskee alueiden pH-arvoa. Rannikkoalueilla entisen merenpohjan savikerrostumat puolestaan vaikuttavat pH-arvoon nostavasti. Pohjois-Suomessa esiintyy paljon mafisia ja ultramafisia kiviä sekä karbonaattikiviä, jonka vuoksi siellä on hieman muuta maata korkeammat pH-arvot. Lisäksi Pohjois-Lapissa turvekerrokset ovat ohuita ja pohjavalunnan osuus on suuri, mikä osaltaan vaikuttaa veden pH-arvoon (Geologian tutkimuskeskus 1996).

4.4 Alkaliteetti

Veden alkaliteetti kuvastaa sen puskurikykyä happamoitumista vastaan. Sitä voidaan mitata emäksisten anionien ja happamien kationien aktiivisuuksien erotuksena. Alkaliteettiin vaikuttavat useat eri veteen liuenneet ja kolloidiset komponentit, mutta merkittävimmän ryhmän muodostavat karbonaatit ja vetykarbonaatit. Niitä syntyy, kun ilman hiilidioksidia liukenee veteen ja muodostaa hiilihappoa. Hiilihappo on väliaine ja se dissosioituu HCO_3^- ja H^+ -ioneiksi. Veteen liuennutta vetykarbonaattia kutsutaan epäorgaaniseksi hiileksi. Vetykarbonaateissa oleva hiili on peräisin veteen liuenneesta hiilihaposta ja karbonaattimineraaleista. Karbonaattimineraaleja on kuitenkin kallio- ja maaperässämme vähän ja valtaosa veden vetykarbonaateista onkin peräisin silikaattimineraalien rapautumiseen osallistuvasta biogeenisestä hiilihaposta. Hajotessaan vetykarbonaatti kuluttaa vetyioneja, jonka vuoksi se muodostaa pääosan veden luontaisesti puskurikyvystä. Alkaliteetti ja sähkönjohtavuus ovat pitkälti riippuvaisia toisistaan ja niiden alueelliset jakaumat ovatkin samankaltaisia. Suomessa esiintyy luontaisesti happamia ja heikosti puskuroituneita valuma-alueita etenkin Sisä-

Suomen, Pohjois-Karjalan ja Kainuun arkeisten graniittigneissien ja proterotsooisten graniittien alueilla. Kallio- ja maaperän mineraaliaines voi joillain alueilla olla hitaasti rapautuva, joka voi johtaa siihen, että joillain puroilla ei ole lainkaan luontaista puskurikykyä (Geologinen tutkimuskeskus 1996).

5 MAAPERÄ JA MIKROBIT

Mikrobit, eli pieneliöt, ovat mikroskooppisen pieniä, kaikista eliökunnista löytyviä organismeja. Niihin lukeutuvat mm. bakteerit, arkeonit ja sienet. Mikro-organismit ovat todella runsas ja monipuolinen ryhmä. Rakenteeltaan ne voivat olla yksi- tai monisoluisia. Mikrobeja esiintyy kaikkialla biosfäärissä ja osa niistä on välttämättömiä ekosysteemin tasapainon kannalta (Institute for quality and efficiency in health care 2019). Tässä tutkielmassa keskiöön on nostettu bakteerien läheisempi tarkastelu ja etenkin se, millainen merkitys bakteereilla on ekosysteemeissä ja kuinka maaperän olosuhteet vaikuttavat bakteerien lajistoon.

5.1 Mineraalimaan ja mikrobien vuorovaikutus

Mikrobit ja maaperä ovat aktiivisessa vuorovaikutuksessa keskenään. Mikrobit voivat vaikuttaa maaperässä oleviin mineraaleihin ja metalleihin esimerkiksi muuttamalla niiden fyysistä ja kemiallista tilaa (Ehrlich 1996; Gadd & Raven 2010). Monet mineraalit ovatkin alkuperältään biogeenisiä ja mikrobit ovat tärkeässä roolissa mineraalien muodostuksessa. Tällaisia niin kutsuttuja biomineraaleja ovat esimerkiksi kalsiumkarbonaatit ja rautaoksidit (Baeurlein 2000; Bazylnski 2001). Vastaavasti metallit ja mineraalit vaikuttavat mikrobien kasvuun, aktiivisuuteen ja selviytymiseen (Ehrlich 1996; Gadd & Raven 2010). Useat metallit, kuten natrium, kupari, sinkki ja rauta ovat elämän kannalta ehdottoman tärkeitä, mutta suurina konsentraatioina ne voivat olla myös myrkyllisiä (Sparks 2005). Mikrobit ovat keskeisesti mukana metallien biokemiallisessa kierrossa ja voivat vaikuttaa merkittävästi metallien liikkuvuuteen. Näin ollen mikrobit voivat vaikuttaa myös suurelta osin siihen, kuinka metallit leviävät maa- ja vesiympäristöissä (Gadd 2004, 2007; Violante ym., 2008; Ehrlich & Newman 2009). Usein suuret ja myrkylliset metallikonsentraatiot ovat peräisin ihmislähtöisestä

toiminnasta, mutta myös luonnolliset geokemialliset prosessit voivat synnyttää myrkyllisiä konsentraatioita (Gadd 2009; Violante ym. 2008). Mikrobeilla on keskenään hyvin erilainen resistanssi metallien myrkyllisyydelle; toiset eivät kestä pieniäkään määriä metalleja ja toiset puolestaan kukoistavat metallipitoisessa ympäristössä (Gadd & Griffiths 1978).

Metallien ja mineraalien, sekä mikrobien keskinäinen vuorovaikutus on erittäin tärkeää alueilla, joissa tutkimuksen kohteena ovat nk. ”kriittiset vyöhykkeet”, eli alueet, jossa tutkitaan elottoman (kivet, maaperä, ilma, vesi) luonnon yhteyttä elolliseen (kasvillisuus, organismit) luontoon ja näiden yhteyksien kykyä säädellä luonnollista elinympäristöä (Sparks 2005; Chorover ym. 2007; Amundson ym. 2007; Brantley ym. 2007). Mineraalit voivat vaikuttaa useisiin mikrobien prosesseihin, kuten ravinnesaantiin ja energian hankintaan (Hochella 2002). Lisäksi maaperän mineraalit yhdessä mikrobien kanssa ovat hyvin merkittävässä roolissa metallioksidien muodostuksessa ja muuntumisessa. Alumiini- ja rautaoksidit ovat erittäin reaktiivisimpia aineita neutraalissa ja happamassa maaperässä. Tämän kaltaisia metallioksideja esiintyy kaikkialla ja ne vaikuttavat keskeisesti maaperän käyttäytymiseen. Esimerkiksi humusaineiden muodostuminen, entsyymitasapaino ja mikrobien aktiivisuus on riippuvaista metallioksideista (Huang ym, 2005).

Lyhyenä yhteenvetona voidaan todeta, että mikrobeilla on hyvin keskeinen rooli erilaisissa geologisissa prosesseissa. Mikrobien kyky vaikuttaa metallien ja mineraalien fyysiseen ja kemialliseen tilaan on hyvin tärkeää biosfäärin prosessien kannalta.

5.1.1 Bakteerit

Bakteerit ovat yksisoluisia mikrobeja, jotka voidaan jaotella ryhmiin usealla eri tavalla. Karkea jaottelu voidaan tehdä sen perusteella, kuinka ne reagoivat happikaasuun. Aerobiset bakteerit käyttävät ja vaativat happea kasvuaan ja kehitystään varten. Anaerobiset bakteerit puolestaan eivät siedä happea, vaan ne tarvitset kasvuaan varten hapettomat olosuhteet. Näiden kahden ryhmän lisäksi on olemassa fakultatiivisesti anaerobisia bakteereja, jotka käyttävät happea kasvuunsa, mutta selviävät myös ilman sitä (Lowy 2019). Happikaasuun reagoimisen lisäksi bakteerit jaotellaan tyypillisesti myös

sen perusteella, kuinka ne hankkivat energiaa. Tämän jaottelun perusteella bakteerit voivat olla joko heterotrofisia tai autotrofisia. Toisenvaraiset eli heterotrofiset bakteerit eivät kykene tuottamaan tarvitsemaansa energiaa itse, vaan hankkivat sen muulla tavoin. Autotrofiset bakteerit puolestaan ovat omavaraisia ja tuottavat ravintonsa itse muuttamalla epäorgaanisia aineksia orgaanisiksi. Bakteerit ovatkin mm. energiantuotonsa takia erityisen merkittäviä ekosysteemien toiminnan kannalta. Autotrofiset bakteerit ovat ravintoketjun tärkeitä tuottajia ja heterotrofiset bakteerit hajottajia (Bohannon ym. 2003). Ekosysteemit, joiden mikrobiyhteisö on bakteerivaltainen, ovat herkästi häiriintyviä, niissä on korkea ravinnesaatavuus, pH on yleensä neutraali tai lievästi hapan ja humuspitoisuus on matalahko (Heijden ym. 2008).

5.2 Orgaanisen aineksen hajoaminen

Orgaanisen aineksen hajoaminen on yksi tärkeimpiä mikrobiprosesseja biosfäärissä. Hajoaminen on pääasiassa biologinen prosessi, jossa orgaaninen materiaali hajoaa pienempiin, yksinkertaisempiin osiin. Siihen vaikuttavat maaperän mikrobien lisäksi myös fyysinen ympäristö ja orgaanisen aineksen laatu. Hajoamisprosessissa orgaaniseen ainekseen sitoutunut energia vapautuu ja ravinteet palaavat kiertoon. Makro-organismit, kuten kastemadot, pilkkovat kuolleen orgaanisen aineksen ensin pienempiin osiin, jonka jälkeen mikro-organismit aloittavat oman hajotustyönsä. Hajotusprosessissa vapautuu erilaisia tuotteita, kuten hiilidioksidia, energiaa, vettä ja orgaanisia hiiliyhdisteitä. Hajoavasta orgaanisesta materiaalista muodostuu humusta. Humuksen muodostuminen on tärkeää, sillä se vaikuttaa merkittävästi maaperän ominaisuuksiin, esim. kuinka hyvin ravinteet sitoutuvat maaperään. Lisäksi humus on ylipäättään parempi kasvualusta kasveille, kuin mineraalimaa. Ravinteet, jotka eivät hajotusprosessissa kulu mikro-organismien ravinnoksi, jäävät kasvien käyttöön. Ne muuttuvat prosessin aikana liukoiseen epäorgaaniseen muotoon, jota kasvit pystyvät hyödyntämään. Mikrobeilla onkin siis hyvin keskeinen rooli maaperän ravinteiden kierrossa ja kasvien kasvussa. Typeä sitovat bakteerit yhdessä mykorritsasienien kanssa tuottavat parhaimmillaan jopa 80 % typestä ja 75 % fosforista, jota kasvit käyttävät vuosittain. Suurin osa kasveista muodostaakin symbioottisen suhteen maaperän mikrobien kanssa ravinnesaannin takia (Heijden ym. 2008).

Maaperän lisäksi myös luonnonvedet sisältävät valtavan määrän erilaisia mikrobeja ja bakteereja. Määrä on vahvasti riippuvainen vesityypistä, sekä monista muista tekijöistä, kuten veden pH:sta ja virtauksesta (Fricker 2003). Mikrobeilla, erityisesti bakteereilla, on luontainen kyky puhdistaa valumavesiä. Puhdistuskyky perustuu bakteerien reagoimiseen hapen kanssa. Aerobiset bakteerit hyödyntävät vapaata happea muuttaen sen avulla veden epäpuhtaudet hiilidioksidiksi, vedeksi ja biomassaksi. Anaerobiset bakteerit puolestaan suorittavat puhdistamisen hapettomissa oloissa muuntaen orgaaniset epäpuhtaudet metaaniksi, hiilidioksidiksi ja biomassaksi (Mittal 2011).

5.3 Maaperän ominaisuuksien vaikutus bakteereihin

Maaperä, sen laatu, koostumus ja tyyppi, on ensisijainen tekijä, kun tarkastellaan siinä eläviä bakteereja. Ympäristötekijät, jotka vaikuttavat bakteereihin voidaan jakaa kahteen ryhmään sen perusteella, millaista niiden vaikutus on. Proksimaaliset tekijät ovat sellaisia, jotka aiheuttavat bakteereihin suoranaisia vaikutuksia. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi maaperän mineraalikoostumus, kosteus, lämpötila, pH, orgaanisen materiaalin sisältö ja ravinnesaatavuus. Alueelliset tekijät aiheuttavat puolestaan epäsuoria vaikutuksia. Alueellisiin tekijöihin lukeutuvat esimerkiksi alueen leveysaste ja korkeus ja alueellinen ilmasto (Brockett ym. 2011). Seuraavassa kappaleessa keskitytään tarkemmin proksimaalisiin tekijöihin ja niiden aiheuttamiin vaikutuksiin bakteereissa.

5.3.1 Maaperän pH:n vaikutus bakteereihin

Mikrobeja on kaikkialla ja ne ovat hyvin monipuolinen ryhmä, mutta niiden laaja-alaista esiintyvyyttä tunnetaan vielä verrattain vähän. Mikään tietty biomaantieteellinen tekijä ei suoranaisesti yhdistä mikro-organismeja, vaan esiintyvyys on monen bioottisen ja abioottisen tekijän summa (Green ym. 2008; Martiny ym. 2006, Ramette & Tiedje 2007). Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että etenkin maaperän bakteerit ja niiden runsaus on vahvasti sidoksissa maaperän ominaisuuksiin ja etenkin pH-arvoon (Borneman & Triplett 1997; McCaig ym. 2001; Singh ym. 2006). Bakteerilajiston monimuotoisuuden on katsottu olevan korkein sellaisissa maalajeissa, joiden pH on neutraali. Happamissa maalajeissa lajiston on puolestaan todettu globaalisti olevan kaikista niukinta (Fierer & Jackson 2006). On kuitenkin tärkeää ottaa huomioon, että pH-arvoon voi myös suorasti

tai epäsuorasti vaikuttaa muut maaperän ominaisuudet, kuten esimerkiksi maaperän orgaaninen hiili, kationisten metallien liukoisuus ja suolapitoisuus. Monien bakteerien solunsisäisen pH:n on tutkittu olevan lähellä neutraalia, joka osaltaan tukee sitä, että myös maaperän neutraali pH-arvo on bakteerilajiston runsauden kannalta paras. Toisaalta osa bakteereista viihtyy tutkitusti myös toisenlaisissa pH-ympäristöissä (Lauber ym, 2009).

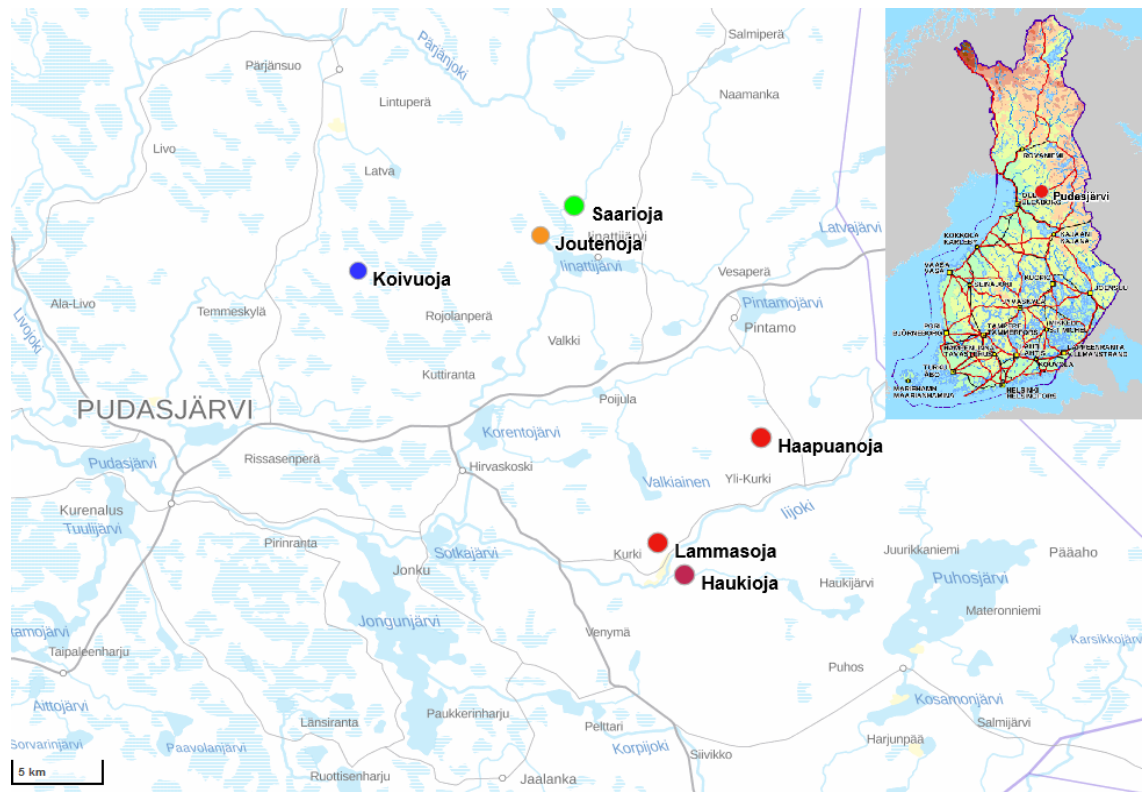
5.3.2 *Maaperän kosteuden vaikutus bakteereihin*

pH-arvon ohella myös maaperän kosteudella on merkittävä vaikutus maaperän bakteereihin. Maaperän kosteus on riippuvainen useista eri tekijöistä. Etenkin alueen paikallinen ilmasto ja sen määrittelemä sadanta, haihdunta ja lämpötila vaikuttavat oleellisesti maaperän kosteuteen (Giacometti ym. 2013). Maa-aineksen raekoko on merkittävä tekijä kosteuden sitoutumisen ja viipymän suhteen maaperässä. Yleisesti ottaen kosteilla alueilla esiintyy runsaasti erilaisia bakteereja, mutta liiallinen kosteus voi heikentää lajirunsautta. Liiallinen vesipitoisuus heikentää olosuhteita hapen muodostukselle, jonka seurauksena etenkin aerobiset bakteerit eivät menesty (Silva ym. 2008; Unger ym. 2009). Puolestaan liian kuivat olosuhteet voivat häiritä maaperän homeostaasia ja näin ollen vaikuttaa bakteerien lajirunsautteen heikentävästi. Tärkeä seikka on kuitenkin se, ettei maaperän kosteus ole luonnollisissa olosuhteissa koskaan täysin stabiili, vaan siihen vaikuttavat edellä mainitut alueelliset olosuhteet (Kim ym. 2008). Borowikin & Wyszowskiin suorittaman kokeen mukaan maaperän optimaalinen kosteus bakteerien kehityksen kannalta vaihtelee. Löyhemmillä, karkearakeisilla maalajeilla optimaalinen kosteus on noin 20 % maaperän maksimaalisesta vesikapasiteetista. Tiiviimmillä maalajeilla vastaava arvo puolestaan on noin 40 %.

6 TUTKIMUSALUE

Tutkimusalueen purot sijaitsevat Pudasjärvellä, Pohjois-Pohjanmaalla. Tutkimuspuroja on kuusi kappaletta ja ne kaikki sijoittuvat Pudasjärven kunnan itäosaan. Puroista Koivuoja, Joutenoja ja Saarioja ovat Kuusamon suuntaan johtavan maantien pohjoispuolella ja Haapuoja, Lammasoja ja Haukioja tien eteläpuolella (Kuva 1). Maaperäkarttojen perusteella purojen ympäristö ja luontotyytit erosivat toisistaan – osa

tutkimuspuroista sijaitsee kosteilla turve- ja järvalueilla, toiset kuivemmalla, hiekkakangasvaltaisella alueella.



Kuva 1. Tutkimusalueen kartta. Tutkimuskohteet on merkitty ympyröillä. (Taustakartta: Maanmittauslaitos 2019)

Kuvassa 2 on esitetty tutkimusalueen rantametsävaltaisen tutkimuspuron ympäristöä. Kuvasta voidaan nähdä, että rantametsän alue on verrattain peitteistä ja maaperä on varpu- ja sammalvaltainen.



Kuva 2. Kuiva rantametsä. Rantametsän maaperän ollessa kuivahkoa kasvillisuus on varpukasvi- ja sammalvaltaista. Kuva: Mari Tolkkinen.

Kuvassa 3 on esitetty tutkimusalueen tutkimuspuron tyypiesimerkki. Puron rantapenkereet ovat ruohokasvivaltaisia, toisin kuin rantametsien varpukasvivaltainen maaperä. Kosteampi ympäristö on omiaan saniaisille ja märemmillä alueilla viihtyville

lajistoille. Kuvasta on nähtävissä, että purot ovat varsin matalia eivätkä ole ojien tai jokien tavoin reuna-alueilta yhtä tarkkaan rajautuneita.



Kuva 3. Tutkimuspuro. Puron läheisyydessä kasvillisuus on ruohokasvi- ja sammalvaltaista. Kuva: Mari Tolkkinen.

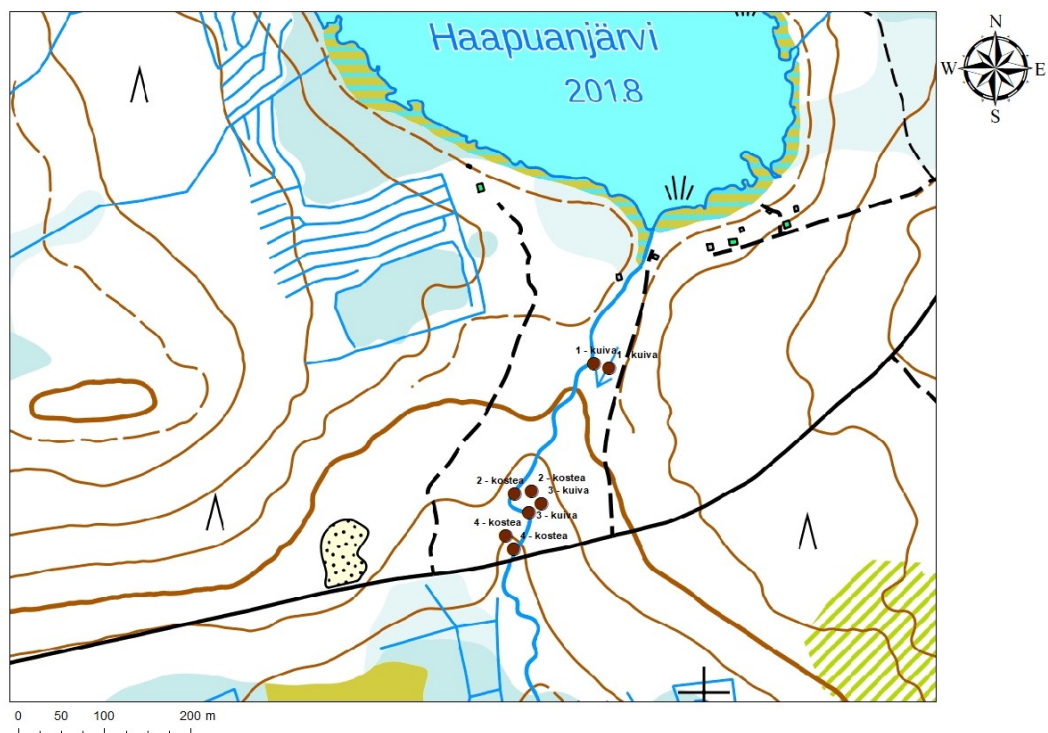
6.1 Tutkimuspurojen erityispiirteet

Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus ja Metsähallitus perustivat vuonna 1997 työryhmän, joka inventoi vuosien 1998 – 2003 välillä yhteensä 257 puroa. Purojen tila selvitettiin inventointimenetelmällä, jossa määriteltiin perusmuuttujat, arvioitiin luonnontilaisuus ja luonnontilaisuutta muuttaneet tekijät. Inventoinnin kohteena oli myös kolme tämän pro gradu -tutkielman tutkimuspuroista, joita olivat Haapuanoja, Haukioja ja Lammasoja. Seuraavat puroista kootut tiedot pohjautuvat Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen vuonna 2005 julkaisemaan raporttiin (Hyvönen ym. 2005).

Haapuanoja on pituudeltaan 6656 m ja sen keskileveys on 1,9 m. Se kuuluu Virsuojan valuma-alueeseen (61.223). Haapuanojan putouskorkeus on 67 m ja puron alimmaisen pisteen korkeus merenpinnasta on 135 m. Haapuanojan rannan kasvutyypeistä prosenttiosuuksina 5 % on suota, 60 % niittyä, 17 % kangasta ja 18 % lehtoa. Purossa on monta luonnontilaisen kaltaista jaksoa. Sen luonnontilaa on muuttanut puron keskiosalta

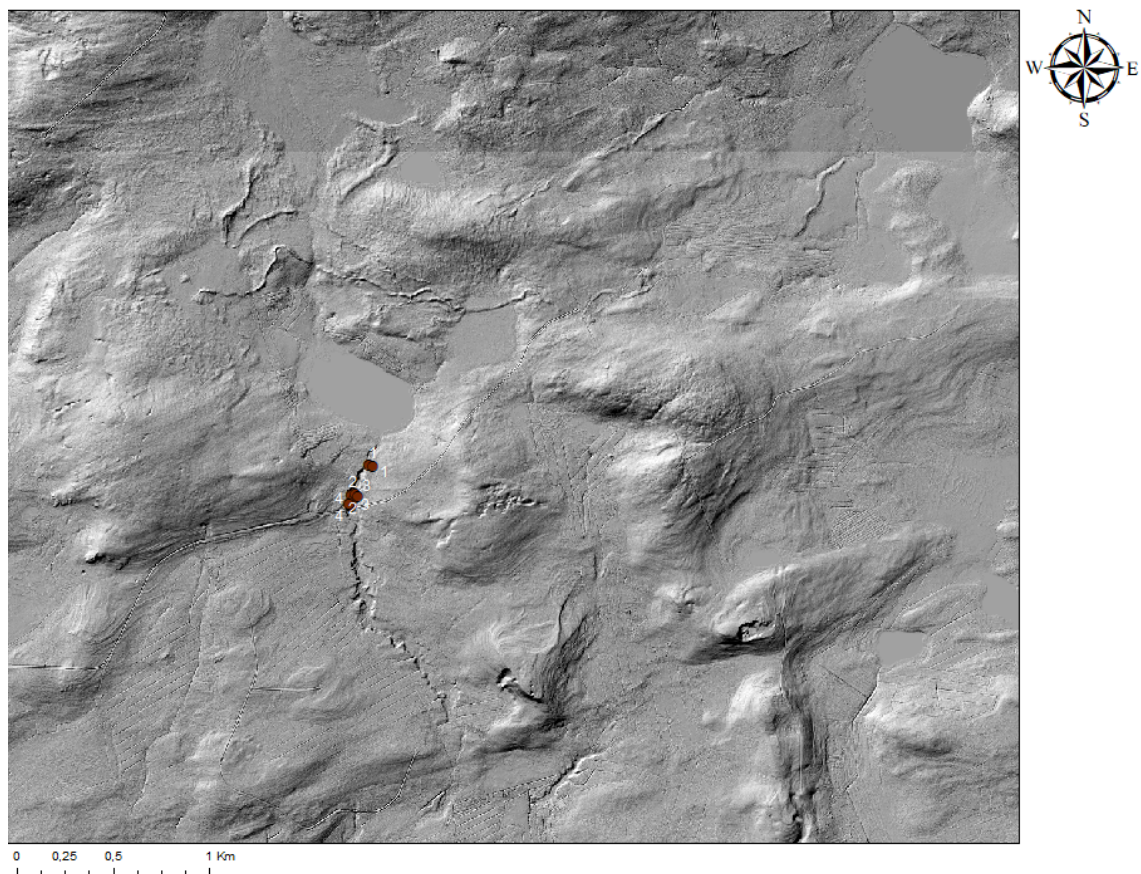
alaspäin metsäojista kulkeutunut hiekka. Haapuanjärven pintaa on nostettu kivipadolla, joka on aiheuttanut ongelmia kalojen nousulle. Valtaosa Haapuanojan purojaksoista on pohjanlaadultaan hiekkaa ja lisäksi pohjamateriaalina on mutaa ja lohkareita. 49 % Haapuanojan virtauksesta on tasaisen voimakasta, mutta 31 % purojaksoista on hitaasti virtaavia. Haapuanojan laskuvesistö on Iijoki (Hyvönen et al. 2005).

Haapuanojan tutkimuspuro (Kuva 4) eroaa muista tutkimuspuroista, sillä se on Haapuanjärven laskuoja. Muut tutkimuspurot eivät ole suoranaisia järvien laskuojia. Noin 150 metriä järven alajuoksun suuntaisesti Haapuanjoen purosta otettiin kaksi kuivaa näytettä tutkimuslinjalta (1). Tutkimuslinjan (1) jälkeen seuraavat tutkimuslinjat olivat noin 150 metriä alempaa alajuoksulta. Tutkimuslinjan (2) näytteet olivat kosteita. Viimeisimmät kaksi tutkimuslinjaa (3 ja 4) otettiin melko läheltä edellistä tutkimuslinjaa (2). Tutkimuslinjan 3 näytteet olivat kuivia ja tutkimuslinjan 4 kosteita. Tutkimuslinjan 2, 3 ja 4 olivat jo 10-100 metrin etäisyydellä alajuoksun suunnassa olevasta maantiestä (Hyvönen ym. 2005).



Kuva 4. Haapuanoja tutkimuspuron maastokartta sekä tutkimuslinjat. (Taustakartta: Maanmittauslaitos 2019)

Haapuanojan alueen LiDAR-kuvassa (Kuva 5) on erotettavissa jääkauden merkkejä maaston muodoissa. Haapuanjärven pohjoispuolella on nähtävissä pienimuotoisia harjujaksoja itä-länsi suunnassa. Itä-länsi suunnassa kulkevia, ei niin selväpiirteisiä, isompia harjumuodostelmia on myös nähtävissä. Itäpuolella voidaan erottaa olevan harjun proksimaalisivu ja länsipuolella jyrkempireunainen distaalisivu.

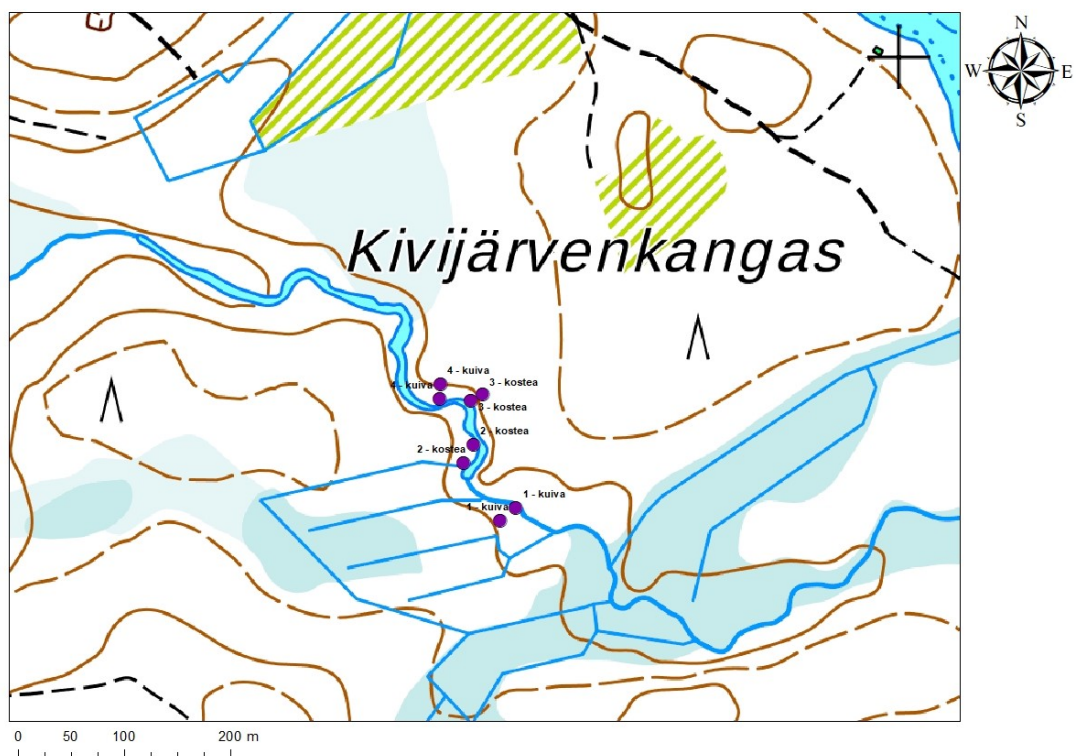


Kuva 5. Haapuanojan tutkimuspisteet (tummanpunaisella) esitettynä LiDAR-korkeusmallin päällä. (LiDAR-kartta: Maanmittauslaitos 2019)

Haukioja on pituudeltaan 10733 m ja sen keskileveys on 2,8 m. Se kuuluu Haukiojan valuma-alueeseen (61.225). Haukiojan putoukorkuus on 68 m ja puron alimmaisen pisteen korkeus merenpinnasta on 123 m. Haukiojan rannan kasvutyypeistä prosenttiosuuksina 10 % on suota, 56 % niittyä, 23 % kangasta ja 11 % lehtoa. Puroon tulee hiekkaa mm. Jylhänpurosta ja Syväojasta ja sen ala- ja keskiosissa on hiekottuneita purojaksoja. Lisäksi metsäojia tulee suoraan puroon. Puron yläosaa on perattu ja siinä on

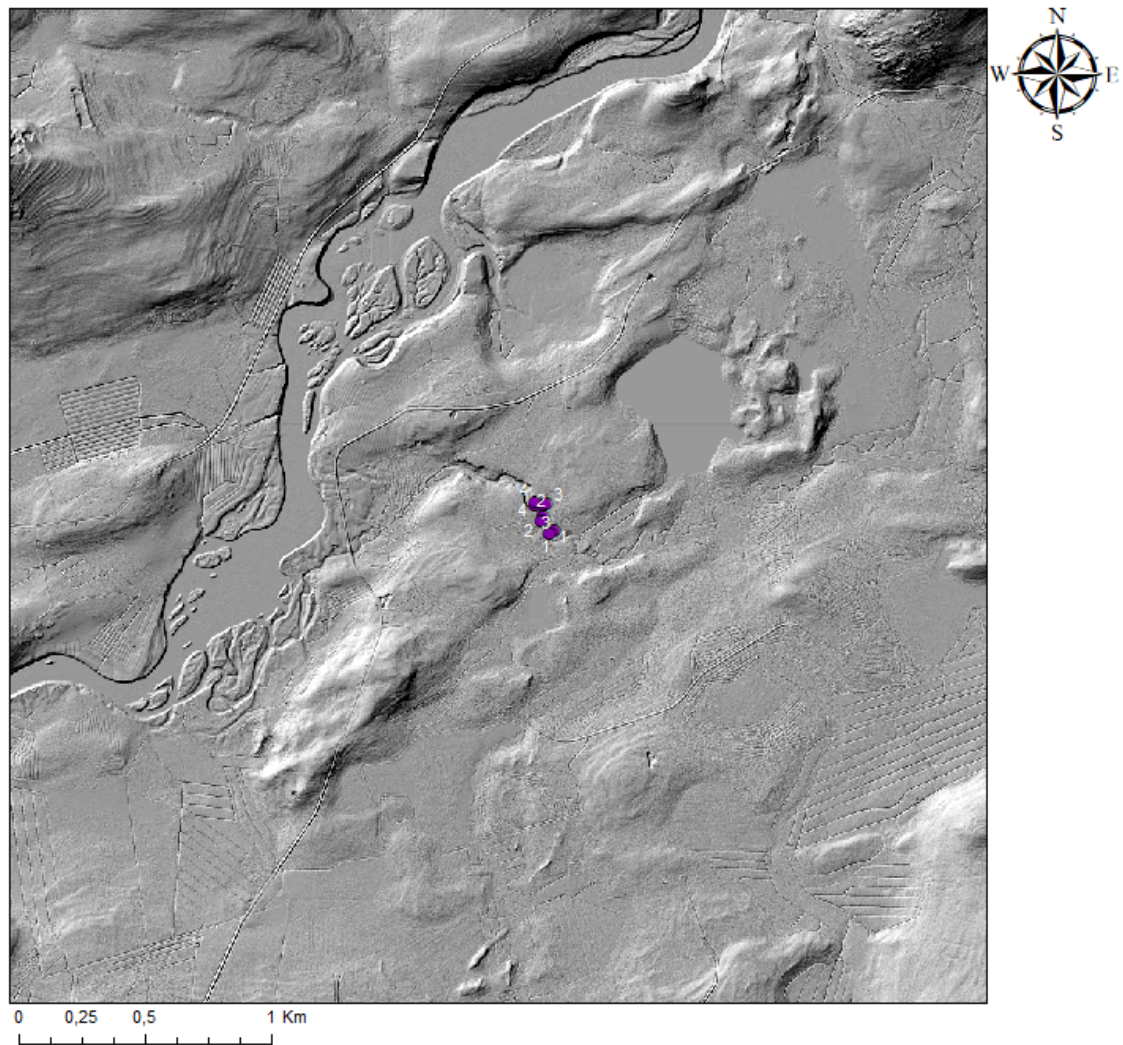
puisia uittorännejä. Rantametsien hakkuita on muutamalla purojaksolla ja Pienen Haukijärven alapuolella on puron varressa kunnostettu mylly. Valtaosa Haukiojan purojaksoista on pohjanlaadultaan hiekkaa ja lisäksi pohjamateriaalina on pieniä lohkaraita ja kiviä. Haukiojan virtauksesta 67 % on tasaisen voimakasta. Haukiojan laskuvesistö on Iijoki (Hyvönen ym. 2005).

Haukiojan tutkimuspuro (Kuva 6) koostuu yläjuoksulta alajuoksun suuntaan siirryttäessä kuivasta tutkimuslinjasta (1), kosteasta tutkimuslinjasta (2), kosteasta tutkimuslinjasta (3) ja kuivasta tutkimuslinjasta (4). Haukiojan tutkimuspuron yläjuoksulle vedet kerääntyvät suoalueelta, johon mm. Kivijärven ja Haukiojan yläjuoksun vedet purkautuvat. Tutkimuspuron tutkimusalueen pisteet ovat Haukiojan loppupäästä, hieman ennen vesien purkupistettä Iijokeen. Haukiojan puro sijoittuu hyvin kostella ja suovaltaiselle alueelle. Tutkimusalueen pisteet sijoittuvat kahden laakean harjun notkossa sijaitseviin pisteisiin. Notkossa kulkeva puro on hieman tavanomaista leveämpi, mutta notkon jälkeen korkeuserojen tasaantuessa puron leveys jälleen pienenee.



Kuva 6. Haukiojan tutkimuspuron maastokartta ja tutkimuslinjat. (Taustakartta: Maanmittauslaitos 2019)

Haukiojan LiDAR-kuvassa (Kuva 7) ei ole nähtävissä niin selväpiirteisiä kerrostumia, kuin Haukiojan tutkimuspuron vinovalovarjostuskuvassa. Haukiojan LiDAR-kuvassa on nähtävissä Iijoen valuma-alueen päävesistöuoma, Iijoki. Iijoen joenvarren reunoilla on havaittavissa kosteita soistuvia alueita sekä joen syntyvaiheiden ja joen kerrostamia maaperämuodostumia. Maaperämuodostumat ovat pääasiassa hiekasta muodostuneita ja joen kuljettamia.

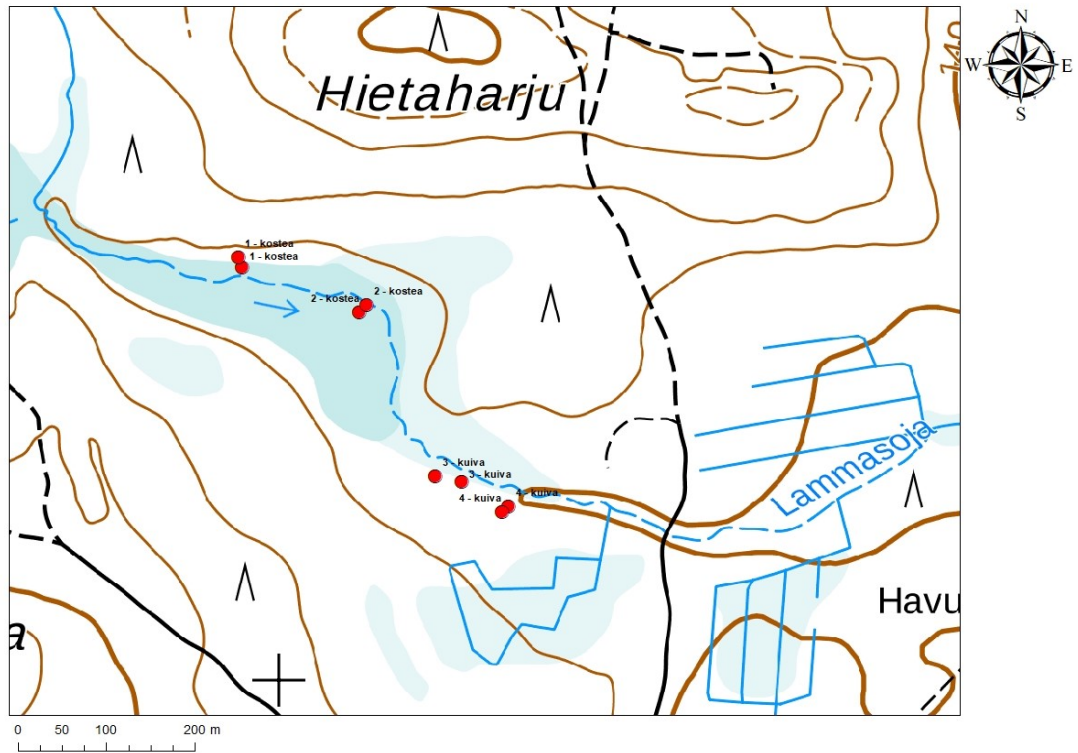


Kuva 7. Haukiojan tutkimuspisteet (violetilla) esitettyinä LiDAR-korkeusmallin päällä. (LiDAR-kartta: Maanmittauslaitos 2019)

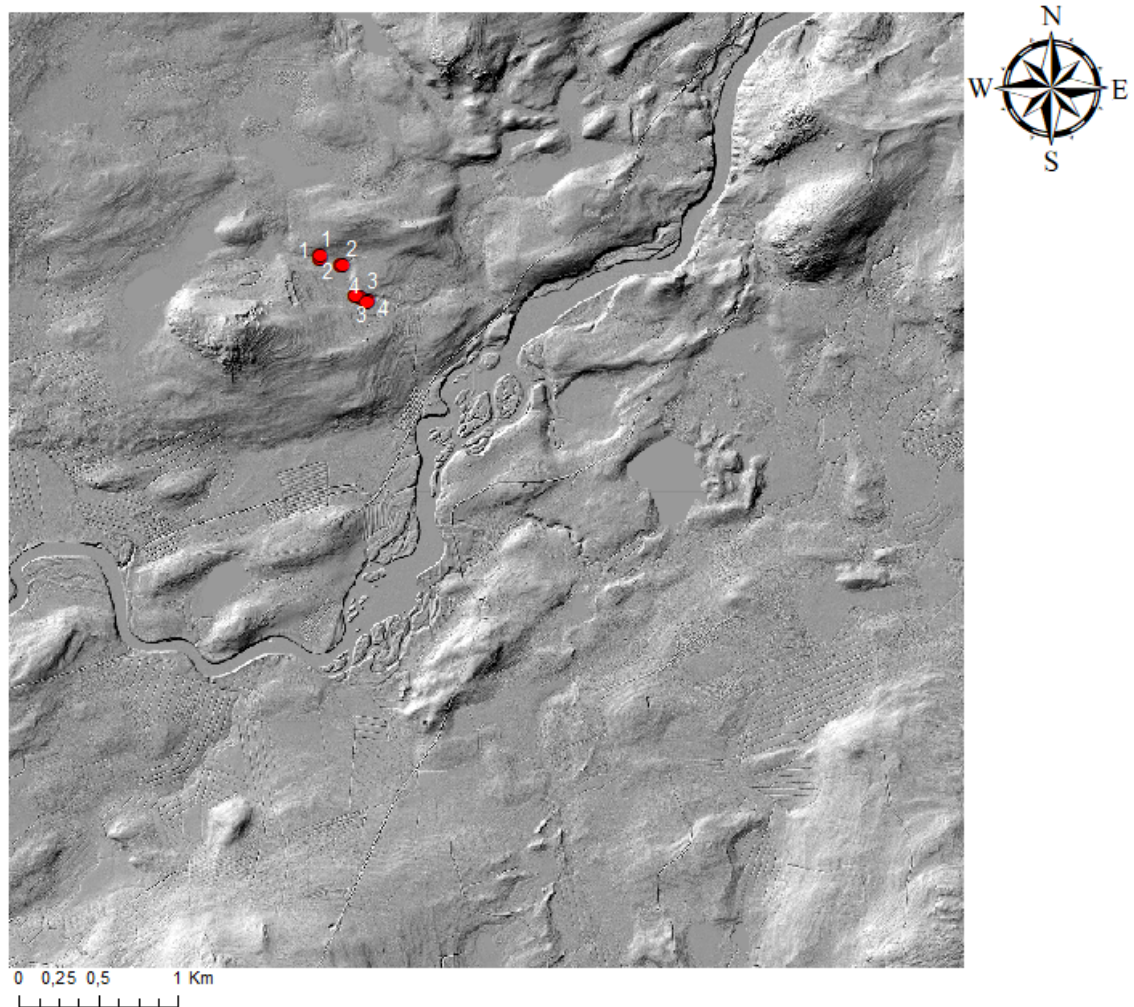
Lammasoja on pituudeltaan 2130 m ja sen keskileveys on 1,0 m. Se kuuluu Iijoen keskiosan alueeseen (61.2). Lammasojan putouskorkeus on 25 m ja puron alimmaisen pisteen korkeus merenpinnasta on 125 m. Lammasojan rannan kasvutyypeistä

prosenttiosuuksina 30 % on suota, 20 % niittyä ja 50 % kangasta. Puro on melko hyvin säilynyt ja sen luonnontilaa muuttavia tekijöitä alueella ovat hakkuut, sekä puron keskiosaan laskeva oja, joka kuljettaa siihen runsaasti hiekkaa. Lammasojassa ei ole tehty kalahavaintoja. Valtaosa Lammasojan purojaksoista on pohjanlaadultaan mutaa ja lisäksi pohjamateriaalina on hiekkaa ja suuria kiviä. Valtaosin Lammasojan virtaus on tasaisen hidasta. Lammasojan laskuvesistö on Iijoki (Hyvönen ym. 2005).

Lammasojan (Kuva 8) tutkimuspuron tutkimuslinjat ovat yläjuoksulta alajuoksun suuntaan kosteutensa perusteella seuraavanlaisia: kostea tutkimuslinja (1), kostea tutkimuslinja (2), kuiva tutkimuslinja (3) ja kuiva tutkimuslinja (3). Lammasojan tutkimusalueen puro on maastokarttaan merkitty katkoviivalla, joka tarkoittaa, että puro ei ole kooltaan iso eikä kovinkaan selväpiirteinen. Puron kokoon vaikuttaa tutkimusalueen pienet korkeuserot, jonka vuoksi veden virtaukseen vaikuttava gradientti on alhainen. Tutkimuslinjojen 1 ja 2 kohdalla on maastokartassa nähtävissä soistuva kosteampi alue, joka tarkoittaa, että puron yläjuoksulta tuleva vesi leviää kyseisten pisteiden kohdalla puron ympärille. Kosteampi alue rajautuu pohjoisessa sijaitsevan Hietaharjun notkoon ja tutkimuslinjojen 3 ja 4 kohdalla samanlaista yhtä selvää soistuvaa aluetta ei ole. Tutkimuslinjojen 3 ja 4 näytteet olivat laadultaan kuivia. Lammasojan puron tasaisen hitaaseen veden virtaukseen vaikuttaa maaston pienet korkeuserot (Kuva 9) ja se, että Lammasojaan purkautuvat vedet ovat peräisin Taranen järvestä, joka haarautuu hieman ennen tutkimusaluetta toiseen soistuneeseen alueeseen, josta osa vedestä puolestaan kulkeutuu umpeen kasvavalle Iso Paskonlammen ja Pikku Paskonlammen kosteikkoalueelle. Lammasojan tutkimuspuron itäpuolella on hyvin lähellä purolinjaa tehty metsähakkuuta. Metsähakkuun länsireuna rajautuu noin 20 metrin päähän purosta.



Kuva 8. Lammasojan tutkimuspuuron maastokartta ja tutkimuslinjat. (Taustakartta: Maanmittauslaitos 2019)

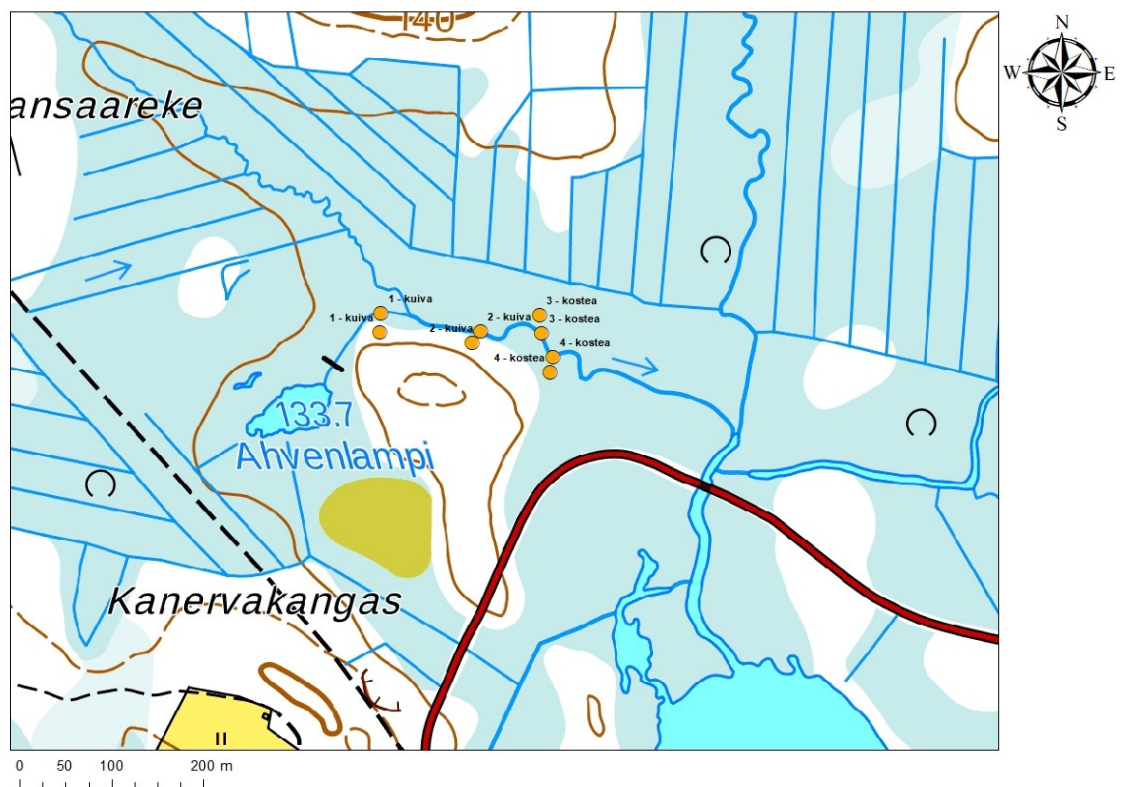


Kuva 9. Lammasojan tutkimuspisteet (punaisella) esitettyinä LiDAR-korkeusmallin päällä. (LiDAR-kartta: Maanmittauslaitos 2019)

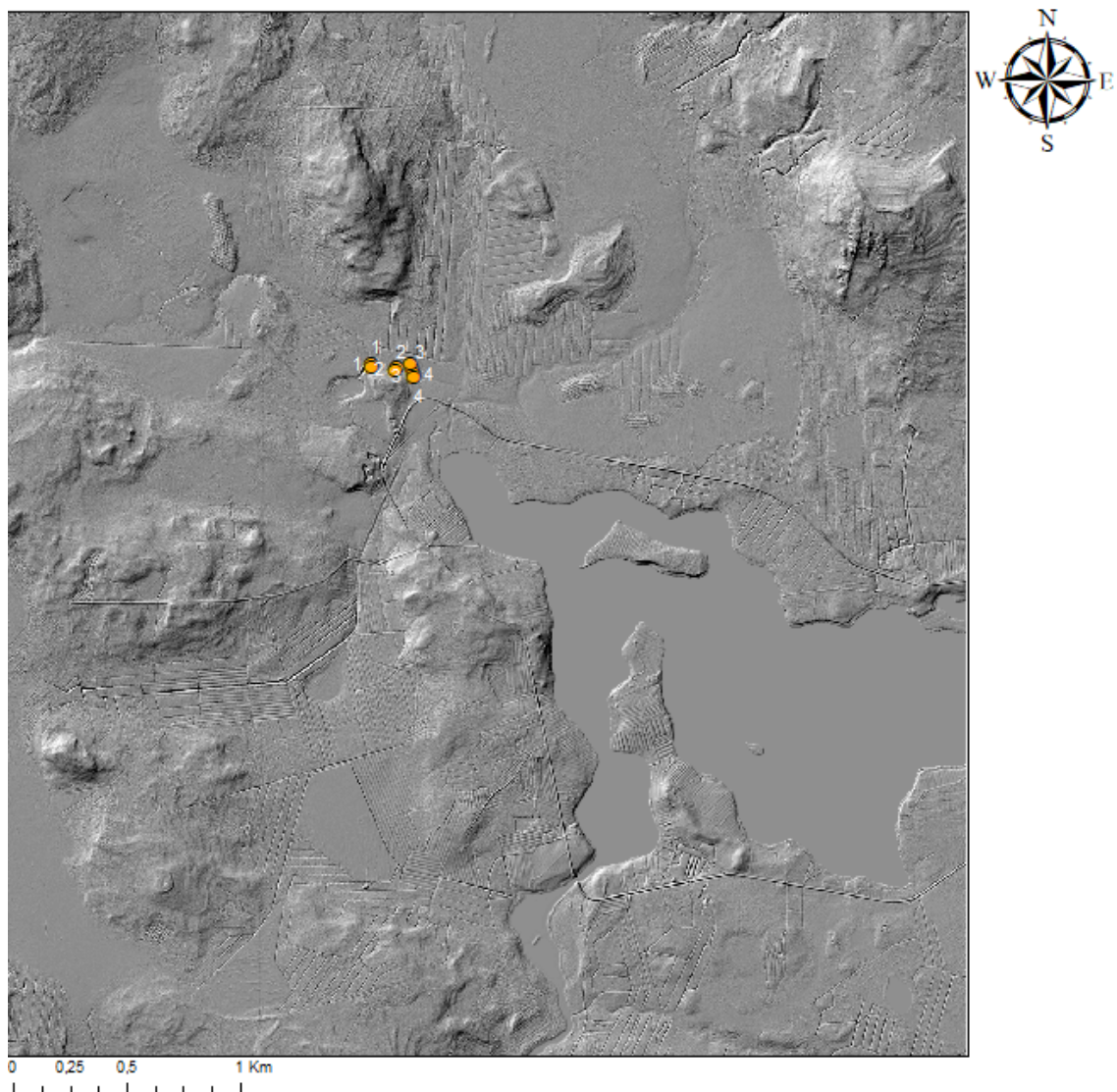
Joutenojan, Koivuojan ja Saariojan puroista ei ollut tehty edellä esitetyn kaltaisia puroinventointeja, joissa olisi kuvailtu purojen erityispiirteitä. Tutkimusalueiden maastokarttojen avulla voidaan kuitenkin tehdä yksinkertaisia havaintoja tutkimuspurojen ympäristöstä.

Joutenojan (Kuva 10) tutkimuspuuron tutkimuslinjat olivat kosteudeltaan yläjuoksulta alajuoksun suuntaan seuraavanlaisia: kuiva tutkimuslinja (1), kuiva tutkimuslinja (2), kostea tutkimuslinja (3) ja kostea tutkimuslinja (4). Joutenojan tutkimusalueen ympäristöä voidaan maastokartan perusteella pitää varsin kosteana ja suovaltaisena. Joutenojan suoalue on pohjoispuolelta runsaasti ojitettu. Tutkimusalueen tutkimuslinja 1

poikkeaa hieman muista tutkimuslinjoista, sillä linjat näytteet sijaitsevat Joutenojan sivuhaarassa johon yläjuoksun suunnalla olevan pienikokoisen Ahvenlammen vedet laskevat (Kuva 11). Tutkimuslinjat 2, 3 ja 4 puolestaan sijaitsevat kohdissa, joissa varsinainen Joutenoja on yhdistynyt Ahvenlammen puroon. Joutenojaa voidaan pitää yhtenä kolmesta Luvelahteen laskevasta pääuomasta. Luvelahti on lahti Iinattijärven luoteisosassa. Joutenojaan purkautuvat vedet ovat pääasiallisesti peräisin ylempänä yläjuoksulla sijaitsevalta Joutensuolta.



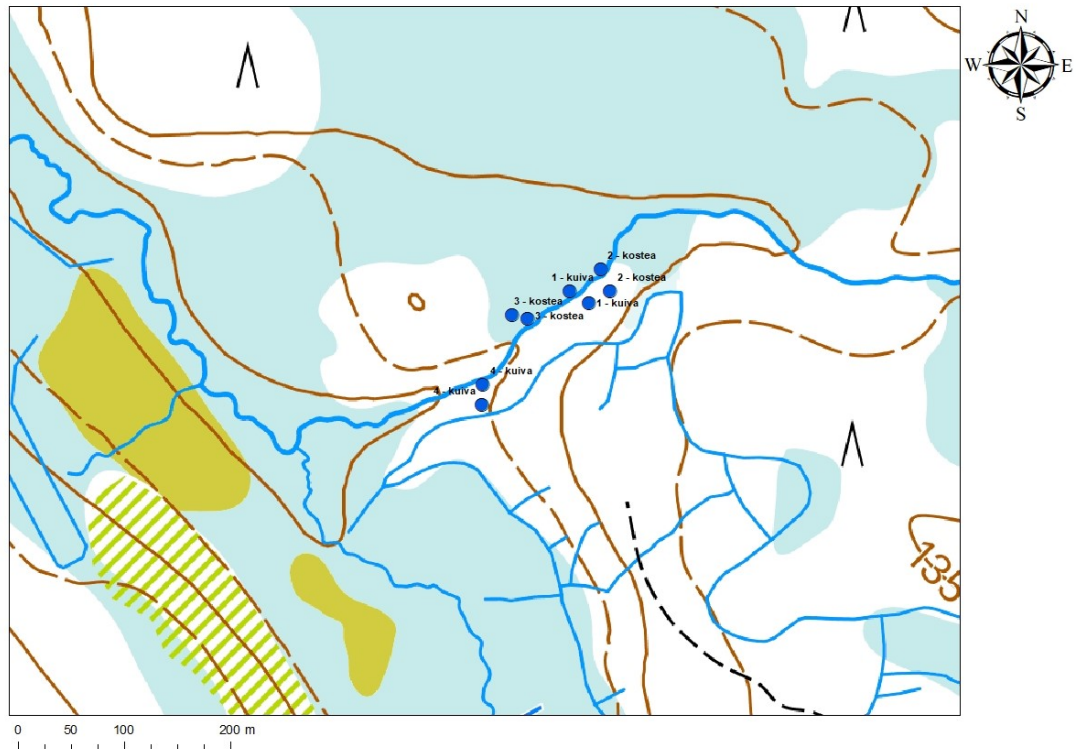
Kuva 10. Joutenojan tutkimuspuron maastokartta ja tutkimuslinjat. (Taustakartta: Maanmittauslaitos 2019)



Kuva 11. Joutenojan tutkimuspisteet (oranssilla) esitettynä LiDAR-korkeusmallin päällä. (LiDAR-kartta: Maanmittauslaitos 2019)

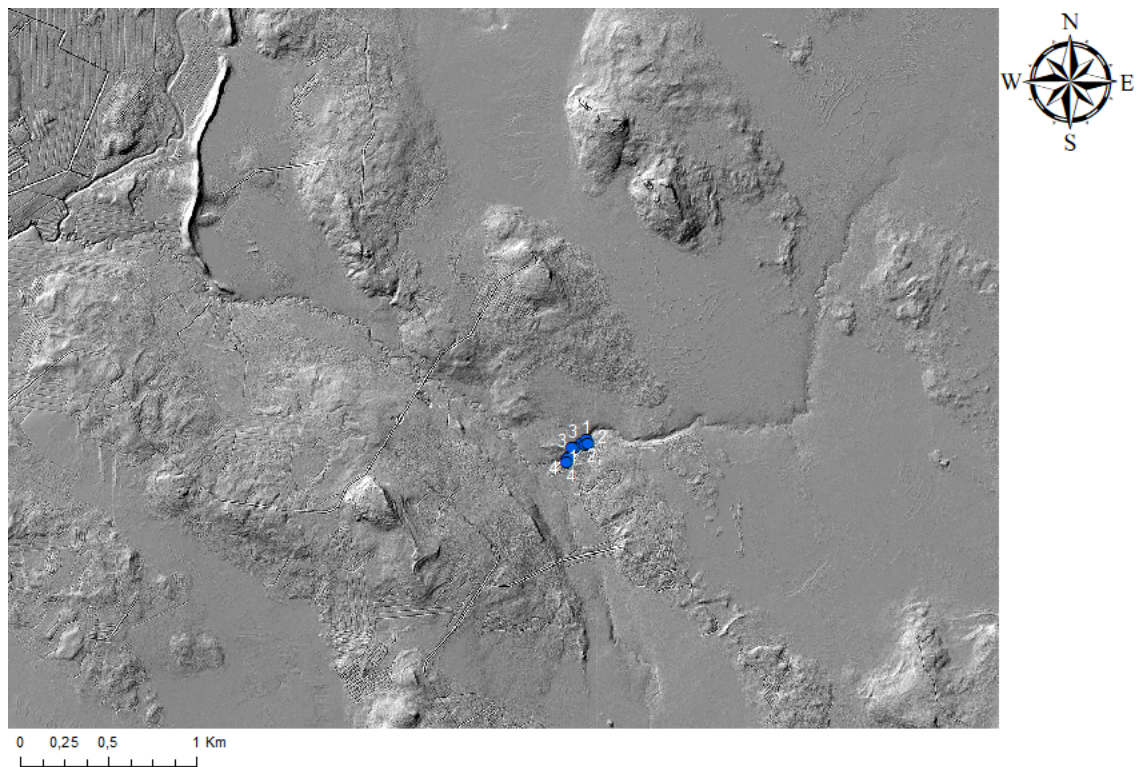
Koivuojan tutkimuspuron tutkimuslinjat ovat kosteudeltaan yläjuoksulta alajuoksun suuntaan seuraavanlaisia: kostea tutkimuslinja (2), kuiva tutkimuslinja (1), kostea tutkimuslinja (3) ja kuiva tutkimuslinja (4) (Kuva 12). Koivuojan yläjuoksu on hyvin suovaltaista ja sen erityispiirteinä ovat useat avoneva-alueet. Koivuojaan vesi virtaa avonevojen ympäröimästä Koivulammesta. Hieman ennen tutkimusalueen tutkimuslinjoja on tehty metsähakkuita puron pohjoispuolelta. Tutkimusalueen viimeisen tutkimuslinjan (4) kohdalla puron toiselta puolen (pohjoispuoli) on myös tehty hakkuita. Maastokartan perusteella Koivuojan puron ympärysalueet ovat varsin kosteita ja

suovaltaisia. Koivuoja tutkimusalueen tutkimuslinjojen jälkeen puron alajuoksulla ennen Kivarinjokeen yhtymistä on myös laajempi, laakea ja ojitettu, kostea alue.



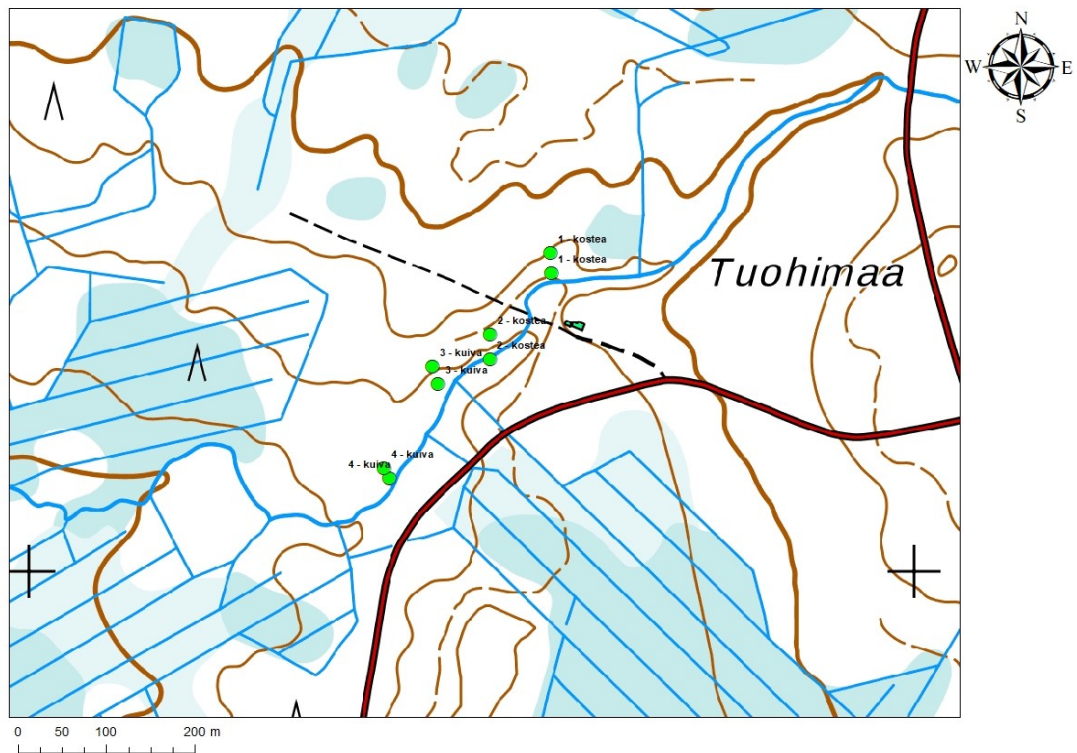
Kuva 12. Koivuojan tutkimuspuron maastokartta ja tutkimuslinjat. (Taustakartta: Maanmittauslaitos 2019)

Koivuojan LiDAR-datassa (Kuva 13) ei ole nähtävissä tutkimuspuron kannalta järin merkittäviä maa- tai kallioperämuodostumia. Tutkimuspuron yläjuoksun alue on suovaltaista ja tasaista. Tutkimuspuron vedet virtaavat alajuoksun suoalueelle, johon kertyy vesiä myös muilta alueilta. Tutkimuspuron pohjoispuolella on nähtävissä kapea poikittaisharju, joka on todennäköisesti glasifluvialinen muodostuma.



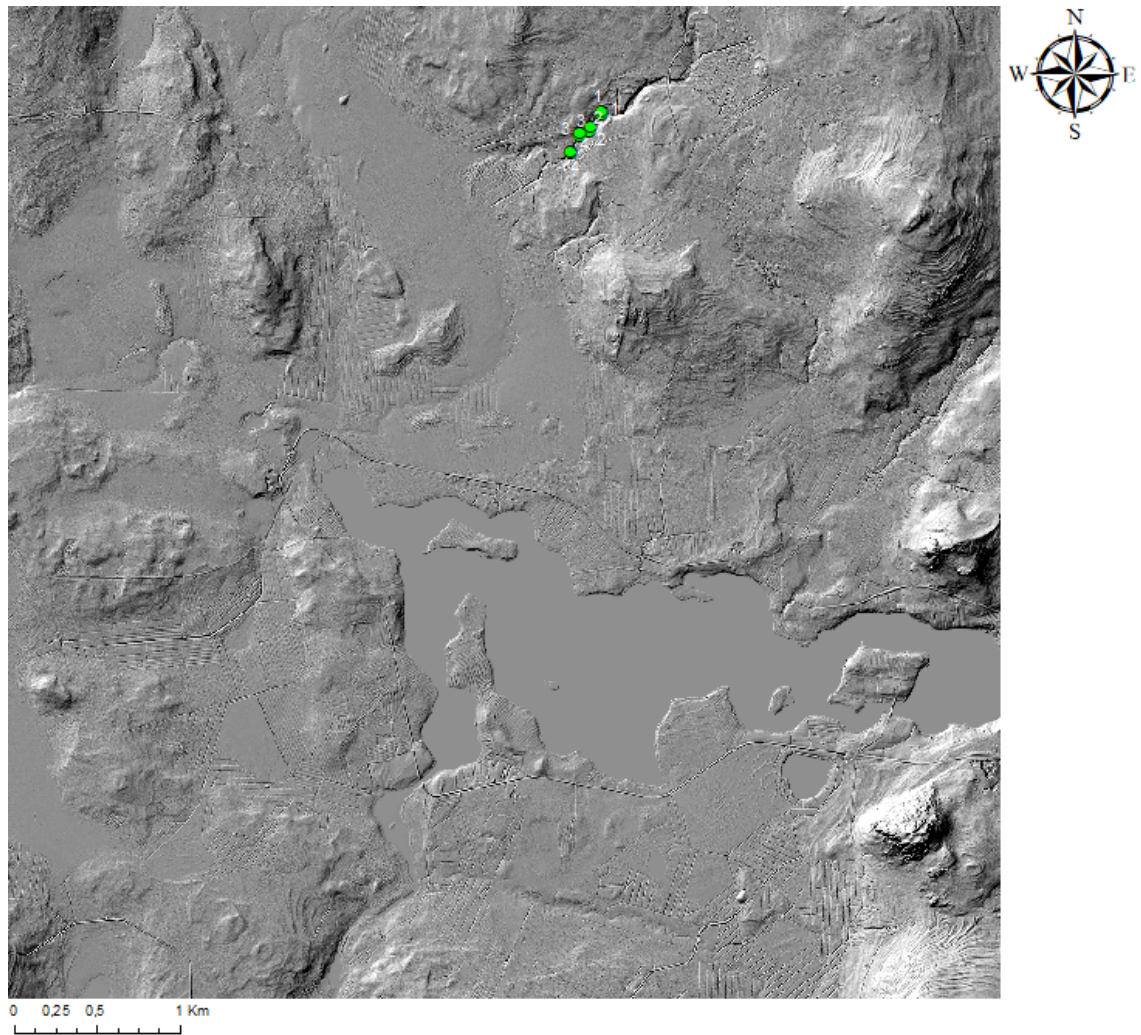
Kuva 13. Koivuojaan tutkimuspisteet (sinisellä) esitettynä LiDAR-karttapohjalla. (LiDAR-kartta: Maanmittauslaitos 2019)

Saariojan tutkimusalueen tutkimuslinjat ovat kosteudeltaan yläjuoksulta alajuoksun suuntaan seuraavanlaisia: kostea tutkimuslinja (1), kostea tutkimuslinja (2), kuiva tutkimuslinja (3) ja kuiva tutkimuslinja (4) (Kuva 14). Saariojan tutkimusalueen tutkimuslinjat sijaitsevat alueella, jossa korkeuserot ovat verrattain suuria muiden tutkimuspurojen tutkimuslinjoihin verrattuna. Tutkimuslinjojen kohdalla puro kulkee notkossa, joten veden määrän ollessa riittävä, puron virtaus on todennäköisesti kohtalaisen hyvä. Saariojan vedet ovat pääosin peräisin pohjoisessa sijaitsevalta kohtuullisen suurelta Penikkasuolta, josta vedet virtaavat Huosiosrämiätin kautta Saariojaan. Notkossa sijaitsevan tutkimusalueen jälkeen Saarioja kulkee kosteammalle soistuneelle alueelle. Soistuvalla alueella Saarioja kulkee Koppelosuon ja Aitasuon lävitse runsaasti ojitetulle suoalueelle. Suoalueen jälkeen Saarioja yhtyy Joutenojan uomaan ja purkautuu lopulta Iinattijärven Luvelahteen.



Kuva 14. Saariojan tutkimuspuron maastokartta ja tutkimuslinjat. (Taustakartta: Maanmittauslaitos 2019)

Saariojan LiDAR-kartassa (Kuva 15) on hyvin nähtävissä tutkimuspuron topografinen sijaintiympäristö. Saariojan tutkimuspuro sijaitsee puron alajuoksun puolella sijaitsevan suoalueen yläpuolella. Kuten aikaisemmin jo todettiin, puro sijaitsee notkossa. Notkossa veden virtaus on todennäköisesti suurempi kuin tasaisemmalla alueella sijaitsevien purojen kohdalla. Puron virtaus voi kuitenkin helposti tyrehtyä kuivempina aikoina, koska hydraulisen gradientin ja tutkimuspuron sijainnin vuoksi alueen maaperä ei ole luonnostaan yhtä kostea, kuin tasaisella suoalueella tai järven lähellä sijaitsevat pisteet, joissa pohjavedenpinnan korkeus on lähempänä paikallista maanpintaa. Saariojan LiDAR-kuvassa on nähtävissä maastokartoissakin havaittavat korkeammat maaperämuodostumat. LiDAR-tukinnassa tutkimuspurosta katsottuna tällaisia muodostumia on etenkin itäpuolella. Itäpuolen muodostumissa on myös nähtävissä jäätikönaikaisten vedenvirtauksen ja -pinnan vaikutuksia ns. ”muinaisranta” muodostumina.



Kuva 15. Saariojan tutkimuspisteet (sinisellä) esitettynä LiDAR-karttapohjalla. (LiDAR-kartta: Maanmittauslaitos 2019)

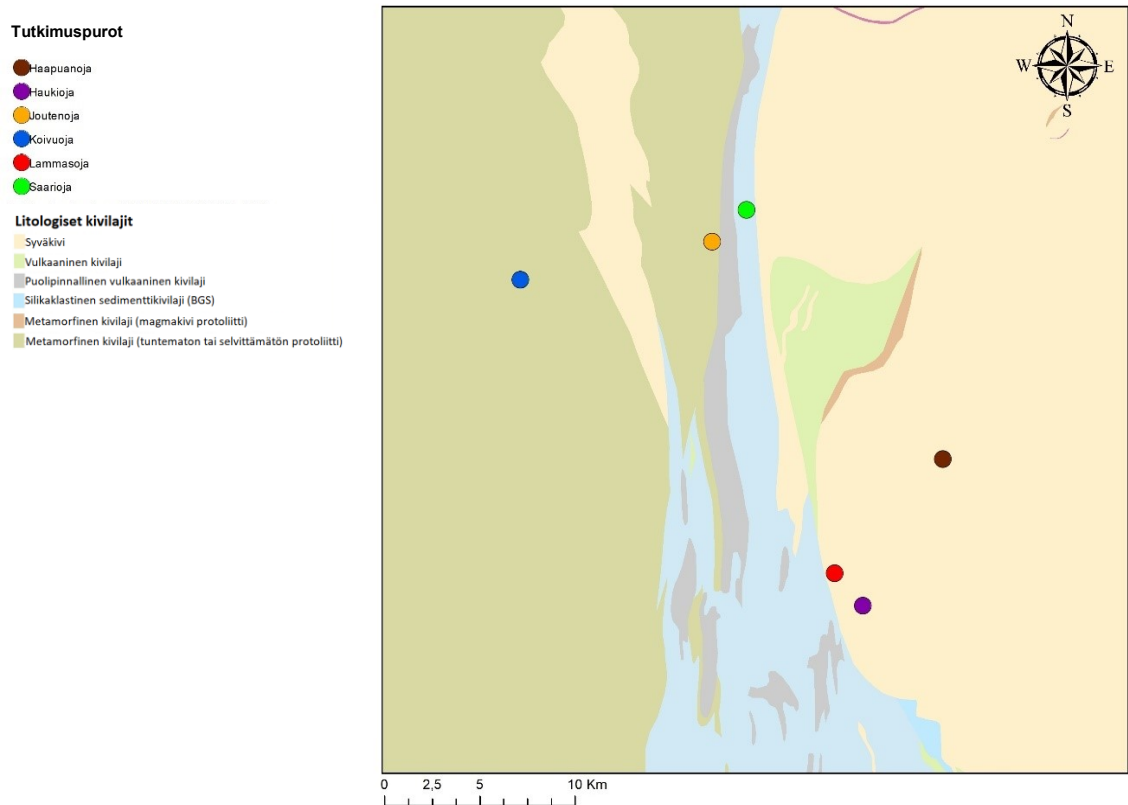
6.2 Pudasjärven alueen kallioperä

Yleisesti ottaen Suomen kallioperä on hyvin vanhaa ja peruskalliomme keskeisimmät kehitysvaiheet sijoittuvat 2800 – 2700 ja 1900 – 1800 miljoonan vuoden taakse. Kallioperämme kuuluu prekambriseen Pohjois- ja Itä-Euroopan peruskallioalueeseen eli ns. Fennosarmatian peruskalliokratoniiin. Suomen pohjois- ja itäosat lukeutuvat arkeaiseen kallioperään, johon myös Pudasjärven alueen kallioperä kuuluu. Arkeisilla alueilla esiintyy tyypillisesti vulkaanisista ja sedimenttikivistä muodostuneita vihreäkivialueita. (Lehtinen ym. 1998.)

Valtaosa tutkimusalueen kallioperästä kuuluu Fennoskandian kilven arkeeseen Karelia-provinssin Lentuan kompleksiin. Alueella on pääasiassa TTG-sarjan (trondhemiitti-tonaliitti-granodioriitti) granitoideja, jotka ovat eriasteisesti migmatisoituneita. Lisäksi osa tutkimuspuroista sijoittuu hieman nuoremmille kallioperän alueille. Nämä alueet kuuluvat Kainuun liuskejaksoon. Kainuun liuskejakso kuuluu varhaisproterotsooiisiin liuskealueisiin ja ne sisältävät mm. mafisia metavulkaniitteja. (GTK maankamara-palvelu)

Tutkimuspurojen kallioperässä on hieman eroja, riippuen siitä, millä alueella tutkimuspurot sijaitsevat (Kuva 16). Itäpuolella sijaitsevista tutkimuspuroista Haapuanoja, Haukioja ja Lammasoja sijaitsevat kallioperän litologisen jaottelun perusteella syväkivivyöhykkeessä. Syväkivet eli plutoniset kivilajit syntyvät kuumen kivisulan, magman jäähtyessä. Emäksistä magmaa puolestaan syntyy maankuoren alapuolella tapahtuvien konvektiovirtausten seurauksena, jotka aiheuttavat litosfäärilaattojen liikkeen. Magman tiheys on pienempi, kuin sitä ympäröivän kiviaineksen, jonka vuoksi se pyrkii kohoamaan ylös maankuoreen ja samalla se alkaa jäähtyä. Vain pieni osa ylöspäin kohoavasta magmasta saavuttaa maankuoren ja yleensä se jää kuoren alaosaan tai kuoren ja vaipan rajalle laattamaisiksi magmasäiliöiksi. Syväkivet voidaan jaotella niiden syntyvän mukaan joko repeytyvän mannerlaatan reunalla ja syvänmeren altaissa syntyneiksi syväkiviksi, mantereensisäisiksi syväkiviksi tai aktiivisten orogeenisten vyöhykkeiden syväkiviksi. Yleisimpiä syväkivilajeja ovat mm. graniitti, granodioriitti, tonaliitti, kvartsimonzonitti ja kvartsidioriitti (Nironen 1998).

Tutkimuspurojen sijainnin ja kallioperätietojen perusteella tutkimuspurot jakaantuvat varsin selvästi kahteen eri kallioperävyöhykkeeseen. Länsipuolella sijaitsevista pisteistä Joutenoja ja Koivuoja ovat granitoideista koostuvan kallioperän alueella ja itäpuolella Haapuanoja, Haukioja ja Lammasoja syväkivien eli magmaattisten kivien vyöhykkeellä. Joutenojan tutkimuspuron itäpuolella on varsin lähellä puolipinnallisten, eli juonikivien, esiintymisvyöhyke. Poikkeuksen tekee Saariojan tutkimuspuro, joka sijaitsee kahden pääkivilajivyöhykkeen vaihtumisvyöhykkeellä, silikaklastisen sedimenttikiven alueella.



Kuva 16. Tutkimusalueen kallioperäkartta (Taustakartta: Geologian tutkimuskeskus 2019)

6.3 Pudasjärven alueen maaperä

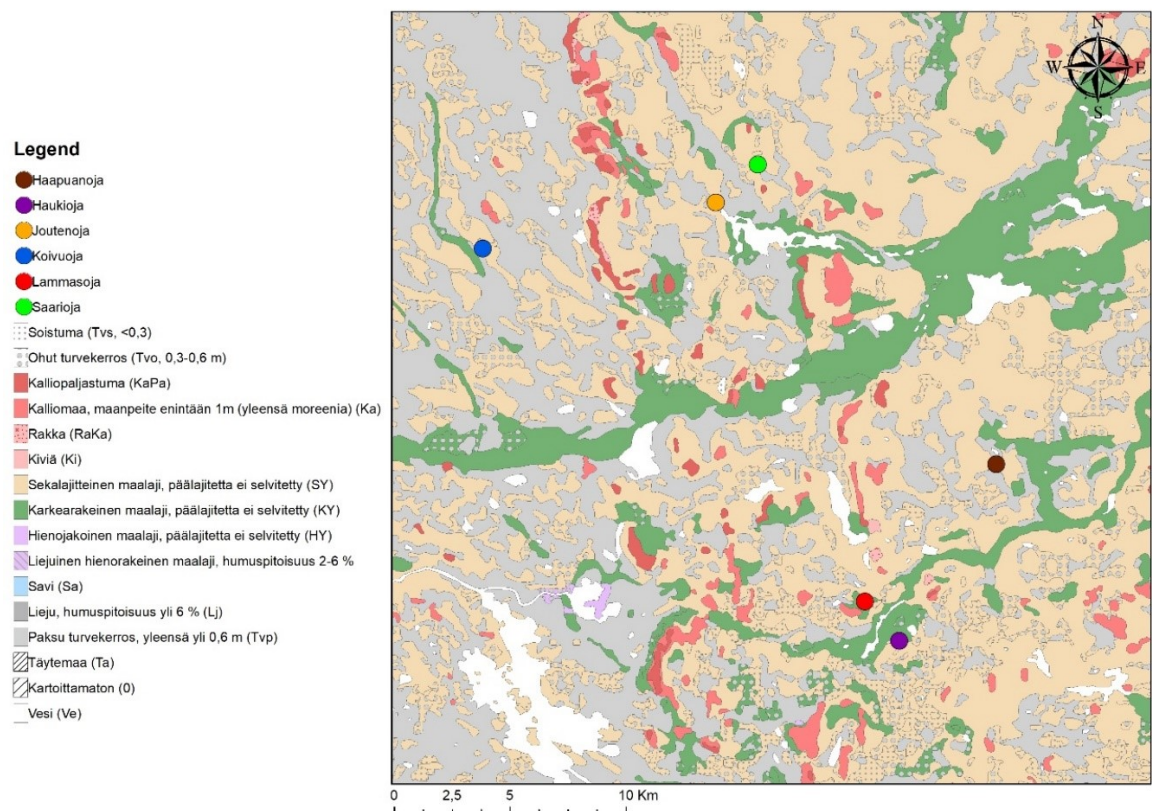
Suomen maaperä on syntynyt pääasiassa viimeisimmän jääkauden, Veikselin, aikana ja sen jälkeen. Tällöin mannerjää irrotti kallioperästä mineraaliainesta, kuljetti ja kasasi sitä erilaisiksi muodostumiksi. Maaperän muodostaa kallioperän mineraaliaineksen lisäksi kasvien ja eliöiden jäänteet. Maamme yleisin maalaji on lajittumaton moreeni, jota esiintyy mm. erilaisina moreenimuodostumina ja kallioperää mukailevana pohjamoreeninä. Jäätikön sulamisvedet ovat synnyttäneet myös monia glasifluviaalisia muodostumia, kuten harjuja. Maapeitteen paksuus voi vaihdella hyvinkin paljon, mutta keskimäärin se on 8,5 metriä. Mannerjäätikön aiheuttama maankuoren painuminen on yhä havaittavissa etenkin maamme länsi-rannikolla maankohoamisena. (Salonen ym. 2002).

Pudasjärvi sijaitsee Pohjois-Pohjanmaalla ja kuuluu Iijokilaakson valuma-alueeseen. Noin 9000 vuotta sitten meren rantaviiva sijaitsi lähellä Pudasjärven taajamaa ja maankohoamista tapahtuu yhä noin 7 mm vuodessa. Iijoen suu sijaitsi tuolloin Pudasjärven alueella, jonka seurauksena muodostuivat alueella olevat hietaiset jokikerrostumat (Airix Ympäristö Oy 2011). Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan yksityiskohtaisemmin tutkimuspurojen alueiden maaperää.

Maaperäkartan (kuva 17) perusteella tutkimuspurojen alueilla on tavattavissa hieman vaihtelua maaperäkerrostumien välillä. Tutkimuspuroista kartan kaakkoispuolella sijaitsevien Haapuanojan, Haukiojan ja Lammasojan maaperässä on alapuoliseen kallioperään verrattuna enemmän vaihtelua. Haapuanoja sijaitsee sekalajitteisen maalajin alueella, joten se voi olla sekoitus moreenia, hiekkaa, turvetta yms. Vaikka Haapuanoja sijaitseekin sekalajitteisen maalajin alueelle, sen pohjois- ja eteläpuolelta on kartoitettu turvemuodostumia, joiden paksuus on yli 0,6 m. Lammasojan tutkimuspuro sijaitsee alueella, jossa vallitsevana maalajina on karkearakeinen maalaji. Alueen länsipuolella on kalliomaata, jonka päällä olevan maanpeitteen paksuus on enintään 1 m. Todennäköisesti maanpeite kalliomaan päällä on moreenia, mikä viittaa myös siihen, että karkearakeinen maalaji tutkimuspuron alueella on moreenia. Kyseessä voi olla myös osittain huuhtoutuneita rantakerrostumia Ancyli-järvivaiheesta, jonka seurauksena keskiraekoko on sora. Tämä puolestaan aiheuttaisi karkearakeisen maalajinimikkeen. Haukioja puolestaan sijaitsee sekalajitteisen ja karkealajitteisen maalajin reunavyöhykkeellä. Tutkimuspuron välittömässä läheisyydessä, Haukiojan eteläpuolella, on kartoitettu soistumaa, jossa turvepeitteen paksuus on alle 0,3 m.

Kuvan 17 luoteisosissa sijaitsevista tutkimuspuroista Joutenojan ja Saariojan maaperä ovat hyvin samankaltaista. Molemmat tutkimuspurot myös sijaitsevat verrattain lähellä toisiaan. Joutenojan ja Saariojan maaperämuodostuma on sekalajitteinen eikä vallitsevaa maalajia ole selvitetty. Joutenojan sekalajitteinen maalajivyöhyke on kapea, mutta sijaitsee juuri tutkimuspuron kohdalla. Länsi- ja itäpuolella vallitsevana maalajina on turve, jonka paksuus on yli 0,6 m. Saariojan tutkimuspuron lähetyvillä on myös turvekerrostumia, mutta ei niin merkitsevissä määrin, kuin Joutenojan kohdalla. Saariojan eteläpuolella on tällaisia samankaltaisia paksuja turvekerrostumia sekä tutkimuspuron länsipuolelta on kartoitettu ohuita turvekerrostumia, joiden paksuus on alle 0,3 m.

Koivuojan tutkimuspuro sijaitsee myös sekalajitteisen maalajin alueella (päälaajitetta ei selvitetty). Koivuojan tutkimuspuron kohdalla huomionarvoista on, että maaperämuodostumakartassa on tutkimuspuron länsipuolella nähtävissä kapea ja pitkittäissuuntainen karkearakeinen maalajimuodostuma. Sama muodostuma on nähtävissä myös tutkimuspuron LiDAR-kartassa. Muodostuma on muodostunut glasifluviallisten prosessien vaikutuksesta jääkauden väistyessä jäätikköjokien vaikutuksesta. Muodostuman sijainnin takia (laskee tutkimuspuron alajuoksun puolelle) sillä ei todennäköisesti ole havaittavaa vaikutusta tutkimuspuron kannalta, mutta on silti mainitsemisen arvoinen tekijä tulosten tulkinnan kannalta.



Kuva 17. Tutkimusalueen maaperämuodostumakartta. (Taustakartta: Geologian tutkimuskeskus 2019)

7 TUTKIMUSMENETELMÄT

Perusmenetelmänä tutkimuksessa käytettiin korrelatiivista kenttäkoetta. Kenttäkokeen etu verrattuna laboratoriokokeeseen on siinä, että kenttäkokeen mittakaava on tutkittavan

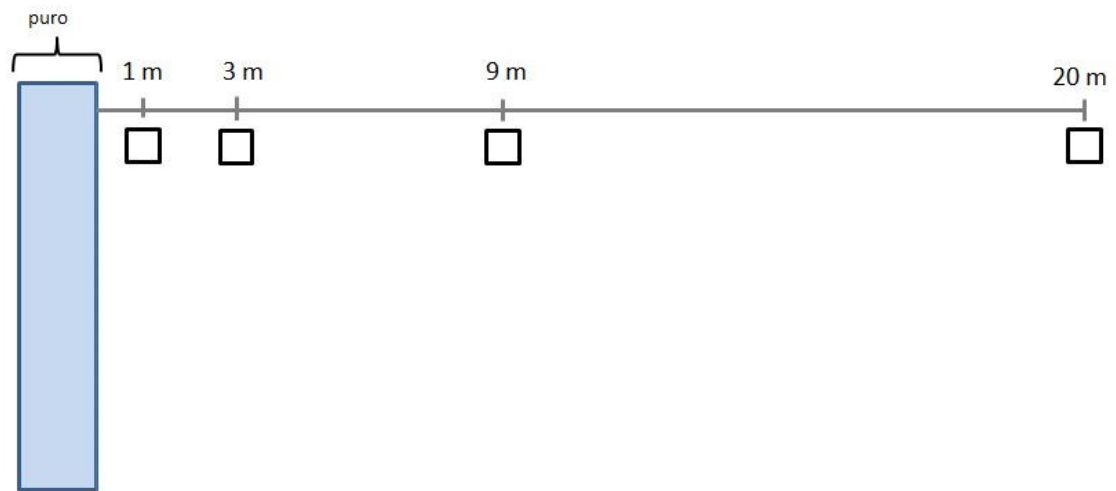
ilmiön kannalta relevantimpi. Luonnossa eliöiden ja prosessien vuorovaikutukset ovat monimutkaisia. Kenttäkokeessa päästään tutkimaan autenttisia luonnossa tapahtuvia prosesseja, kun taas puhtaasti kokeellinen tutkimus on aina yksinkertaistus. Vuorovaikutusten monimutkaisuus aiheuttaa toisaalta sen, että ilmiöiden syy-seuraussuhteita ei pystytä suoraan todentamaan, vaan tutkimus nojautuu korrelatiivisiin tulointoihin. Sen vuoksi kenttäkokeista saadut tulokset eivät yleensä ole yhtä selkeitä kuin kontrolloiduissa olosuhteissa suoritetuissa kokeissa.

Ilmiöt voivat myös olla hyvin tapauskohtaisia, esimerkiksi mikrobien yhteisöt voivat merkittävästi vaihdella eri purojen välillä. Purojen välistä heterogeenisyyttä pyrittiin tässä työssä kontrolloimaan replikoimalla näytepisteitä purojen sisällä (16 näytepistettä kunkin puron rantavyöhykkeellä). Tällaisella tietoisella ”pseudoreplikaatiolla” pyritään siis häivyttämään yksittäisestä purosta johtuvaa vaihtelua, jotta päästään paremmin kiinni tässä tutkimuksessa kiinnostuksen kohteena oleviin asioihin (maaperän ja kallioperän ominaisuuksien vaikutuksesta bakteeriyhteisöihin).

Bakteerilajisto määritettiin DNA-pohjaisella menetelmällä. PCR-menetelmä (polymeraasiketjureaktio) on nopea ja tarkempi verrattuna viljelymenetelmään. Tämä on suuri etu ekologisessa tutkimuksessa, jossa bakteerien lajimäärä lasketaan sadoissa tai tuhansissa. Lisäksi maaperäbakteerit ovat vielä verrattain huonosti tunnettu ryhmä ja DNA-pohjaisella menetelmällä pystytään löytämään nekin bakteerit, joita ei vielä ole viljelty ja kuvattu. PCR:ssä käytetään hyväksi kaikilla bakteereilla esiintyviä DNA-jaksoja, mikä mahdollistaa kaikkien bakteerien DNA:n monistamisen samoissa reaktioolosuhteissa.

7.1 Maastotyöt

Tutkimusaineisto kerättiin Pudasjärveltä kuuden eri puron varrelta. Jokaisen puron rantaan muodostettiin neljä 20 metrin tutkimuslinjaa, joista kaksi on kosteaa ja kaksi kuivaa. Näytteet otettiin jokaiselta tutkimuslinjalta 1 m, 3 m, 9 m, ja 20 m etäisyydellä purosta (Kuva 18). Näin ollen näytteiden yhteismäärä oli 96.



Kuva 18. Purolinja, johon on merkitty mittausetäisyydet rannasta katsoen

Lokakuussa 2018 otettiin maakairanäytteet mikrobi-, ravinne-, ja kokonaishiilianalyyseja varten. Maakairana käytettiin halkaisijaltaan n. 3 cm metallista onttoa putkea. Jokaisesta tutkimusruudusta tehtiin 10 kairautta n. 10 cm syvyydelle tai niin syväälle kuin pystyi ennen kuin kivennäismaa tuli vastaan. Jos 10 kairauksesta tuli kovin vähän maata, niin tehtiin lisäkairauksia. Kaira ”puhdistettiin” ennen jokaista ruutua kairaamalla muutama ”haamukairaus”, joissa maa-aines heitettiin pois. Näin haluttiin varmistaa, että DNA-näytteet ei kontaminoidu edellisen ruudun kairauksesta näytteenottimeen jääneestä maa-aineksesta. Jokaisen tutkimusruudun maanäyte säilöttiin tiiviiseen muovipussiin, jonka päälle kirjoitettiin näyteruudun koodi. Tutkimuspurojen tutkimusruudut nimettiin seuraavasti tutkimusruutujen etäisyyksien perusteella: Näytetunnuksen ensimmäiset kolme kirjainta ovat tutkimuspuron nimen alkukirjaimet (esim. HAA = Haapuanoja), jota seuraa tutkimuslinjan numero (Esim. HAA1 = Haapuanojan 1. tutkimuslinja) ja lopuksi näyteruudun etäisyys, jossa A on 1 m, B on 3 m, C on 9 m ja D on 20 m (Esim. HAA1A = Haapuanojan 1. tutkimuslinjan 1 m etäisyyden tutkimusruutu). Kaikki kerätyt näytteet nimettiin vastaavaa kirjaustapaa käyttäen. Näytepusseja kuljetettiin näytteenottopäivänä laboratorioon, jossa ne pakastettiin -20 °C:een.

7.2 Laboratorioanalyysit ja DNA-eristys

Näytteet esikäsiteltiin laboratoriossa marraskuun 2018 aikana. Esikäsittelyssä maanäytteet sulatettiin ja jokaisesta näytteestä eroteltiin kivennäismaa eloperäisestä aineksesta. Kivennäismaa säilöttiin erillisiin pusseihin. Eloperäinen maa-aines sekoitettiin huolellisesti, minkä jälkeen siitä otettiin osanäytteet mikrobi-, kokonaishiili- ja ravinnemäärityksiä varten. Bakteerien DNA-määrittystä varten eloperäistä maa-ainesta otettiin jokaista tutkimusruutua kohden 3 kappaletta 2 ml:n Eppendorf-putkiin (yhteensä 3 x 96 Eppendorf-putkellista). Eppendorf-putket laitettiin pakastimeen odottamaan kylmäkuivausta. Vain yhtä 2 ml näytettä käytettiin jatkoanalyysissä, muut kaksi toimivat varanäytteinä. Kokonaishiilianalyysijä varten eloperäistä maa-ainesta otettiin noin 2 g ja ravinnemäärityksiä varten 1,5 dl jokaisen linjan alku- ja päätepisteiden näytteistä (A ja D-ruudut, yhteensä 48 kokonaishiili- ja 48 ravinnemäärittäysnäytettä). Ravinteista määritettiin fosfori, ammoniumtyppi, nitraattityppi, kalsium, mangaani ja kalium.

Yksi 2 ml maanäyte kustakin tutkimusruudusta pakastekylmäkuivattiin DNA-eristystä varten. Kaksi Eppendorf-putkea maanäytettä kustakin tutkimusruudusta jätettiin pakastimeen varanäytteiksi. ALPHA 1-4 LD plus-pakastekylmäkuivurilla kuivatuista maanäytteistä määritettiin bakteerien DNA. Määrittäksessä käytettiin 16S rRNA-geeniä, joka on paljon käytetty bakteerien määrittäksessä. Se on konservatiivinen, eli toisin sanoen muutokset tässä geenissä tapahtuvat hitaasti, minkä vuoksi se soveltuu hyvin DNA-määrittäsalueeksi. DNA:n eristys suoritettiin kaupallisella MoBion PowerSoil-kitillä. Eristyksen jälkeen DNA monistettiin polymeerasiketjureaktiossa (PCR). Reaktion aikana DNA:n vastinjuosteet irtoavat toisistaan, alukkeet liittyvät yksijuosteiseen DNA:han ja polymeerasi luo alukkeista alkaen uuden vastinjuosteen. Näin ollen lämpövaihteluita kestävä polymeerasientsyymillä avulla DNA:sta saadaan monistettua hetkessä suuri määrä kopiota. Tämän jälkeen näyte puhdistettiin ja PCR:n onnistuminen tarkistettiin. Puhdistamisen jälkeen näyte sekvensoitiin Ion Torrent:illa, joka perustuu vetyionien havaitsemiseen, jotka ovat vapautuneet DNA:sta polymerisaation aikana. Saatua sekvenssiaineistoa analysoitiin QIIME2:lla, eli Quantitative Insight Into Microbial Ecology, joka on bioinformatiivinen tietokoneohjelmisto. Tämän jälkeen sekvenssit klusteroitiin, eli ryhmitettiin ASV:ksi (amplicon sequence variants) (Callahan ym. 2017).

Lopuksi vastaavuudet etsittiin Silva-tietokannasta, jossa taksonomisille yksiköille etsittiin nimet, mikäli ne löytyivät tietokannasta. DNA:n eristys, sekvensointi ja bioinformatiikka teetettiin Oulun yliopiston Ekologian ja genetiikan laboratoriossa. Kokonaishiilimääritykset teetettiin SGS:n laboratoriossa Kotkassa käyttäen SFS-EN 13137-menetelmää. Ravinneanalyysit teetettiin Oulun yliopiston Ekologian ja genetiikan yksikön laboratoriossa.

7.3 Geologiset analyysit

Geologiset analyysit suoritettiin tammi-helmikuun aikana Oulu Mining Schoolin laboratoriossa. Geologisina analyyseina näytteille suoritettiin hehkutushäviö, sekä raekoon määrittäminen. Geologisia analyyskejä varten huomionarvioista on, että maanäytteet otettiin vain noin 10 cm syvyydeltä maanpinnasta käsikairan avulla. Näin ollen näytteet antavat melko suppean otannan alueen maalajeista. Näytteet valikoitiin siten, että jokaisesta 6 tutkimuspurosta otettiin yksi kuiva tutkimuslinja ja yksi kostea tutkimuslinja. Näistä tutkimuslinjoista valittiin näytteet 1 metrin ja 20 metrin päästä purosta, jotta saataisiin alku- ja päätepisteet. Näin ollen geologisiin analyysihin valikoitui 24 näytettä. Kustaan ja kuivan tutkimuslinjan vertailu kustakin purosta antaa mahdollisimman edustavan kuvan alueiden maaperäolosuhteista sekä niiden eroista.

Maalajin luokitusominaisuuksilla kuvataan maakerroksen koostumusta ja rakennetta. Luokitusominaisuuksien avulla pystytään arvioimaan maalajien ja maakerrosten geoteknisiä ominaisuuksia. Suomessa siirryttiin 1970-luvulla käyttämään geoteknistä maalajiluokitusta rakennusteknillisen maalajiluokituksen sijaan. Tämän luokituksen mukaisesti maalajit jaetaan neljään ryhmään geologisen syntyvän, raekoon ja humuspitoisuuden perusteella. Luokitusperusteet kuvataan taulukossa 1 (Petäjä-Ronkainen ym. 1995). Luokitusominaisuudet voidaan jakaa kahteen pääryhmään, joita ovat koostumus- ja rakenneominaisuudet. Raekoko ja humuspitoisuus, joita tutkitaan osana näytteille suoritettavia geologisia analyyskejä, kuuluvat molemmat koostumusominaisuuksiin. Niiden avulla pystytään nimeämään maalaji.

Taulukko 1. Geoteknisen maalajiluokituksen luokitusperusteet (Petäjä-Ronkainen ym. 1995).

Maalajiryhmä (lyhenne)	Luokitusperusteet	Maalajit (lyhenne)
Eloperäiset (E)	eloperäistä >20 paino-%	Turve (Tv) ja lieju (Lj)
Hienorakeiset (H)	hienoainespitoisuus ≥ 50 %, humuspitoisuus ≤ 20 paino-%	Savi (Sa) ja siltti (Si)
Karkearakeiset (K)	Lajittuneet, hienoainespitoisuus < 50%	Hiekka (Hk) ja sora (Sr)
Moreeni (M)	Lajittumattomat, sisältävät useita eri lajitteita	Silttimoreeni (siMr), hiekkamoreeni (hkMr) ja soramoreeni (srMr)

7.3.1 Humuspitoisuus

Humusaineilla tarkoitetaan eloperäisten aineiden hajoamistuloksia. Humuksen havaitsee maalajista yleensä sen tumman, vihertävän tai ruskehtavan värin perusteella. Maalajin humuspitoisuus ilmaisee eloperäisen aineksen suhteellisen osuuden kivennäismaan määrään verrattuna. Maalaji on eloperäistä, kun sen humuspitoisuus ylittää 20 %. Hienorakeisten maalajien sisältämät humusaineet vaikuttavat merkittävästi niiden geoteknisiin ominaisuuksiin. Humus muun muassa lisää kuivumiskutistumaa, häiriintymisherkkyyttä, hygroskooppisuutta ja pienentää vedenläpäisevyyttä. Maalajin humuspitoisuus voidaan määrittää eri tavoilla ja näissä analyyseissä käytetään kuivapolttomenetelmää.

Kuivapolttomenetelmässä eli hehkutushäviössä maa-aineksen sisältämä humus poistetaan polttamalla ja sen määrä lasketaan painohäviönä kuivapainosta. Hehkutushäviökoe suoritettiin SFS-EN ISO 17892-4:2016 -standardin mukaisesti. Ennen kuivapolttomenetelmää näytteet kuivatettiin yön yli 60°C lämpötilassa. Hehkutukseen tarvitaan posliiniupokkaita, jotka puhdistettiin ja hehkutettiin kaksi tuntia 950°C lämpötilassa 2 tuntia. Tämän jälkeen upokkaat punnittiin 0,1 g tarkkuudella. Näytteet hienonnettiin käsin mahdollisimman hienoksi ja niitä mitattiin upokkaaseen 0,5-5 g. Upokkaat asetettiin hehkutusuuniin, jossa niitä hehkutettiin 550°C yön yli. Hehkutuksen jälkeen upokkaat (Kuva 19) nostettiin jäähtymään muutaman minuutin ajaksi, jonka jälkeen ne laitettiin eksikaattoriin. Jäähtyneet näytteet punnittiin mahdollisimman tarkasti, jonka jälkeen niistä laskettiin hehkutushäviö seuraavan kaavan mukaisesti:

$$WLOI = \frac{mc - md}{mc - ma} 100, \text{ jossa}$$

WLOI = Hehkutushäviö (%)

mc = upokas + näyte kuivana (g)

md = upokas + näyte hehkutettuna (g)

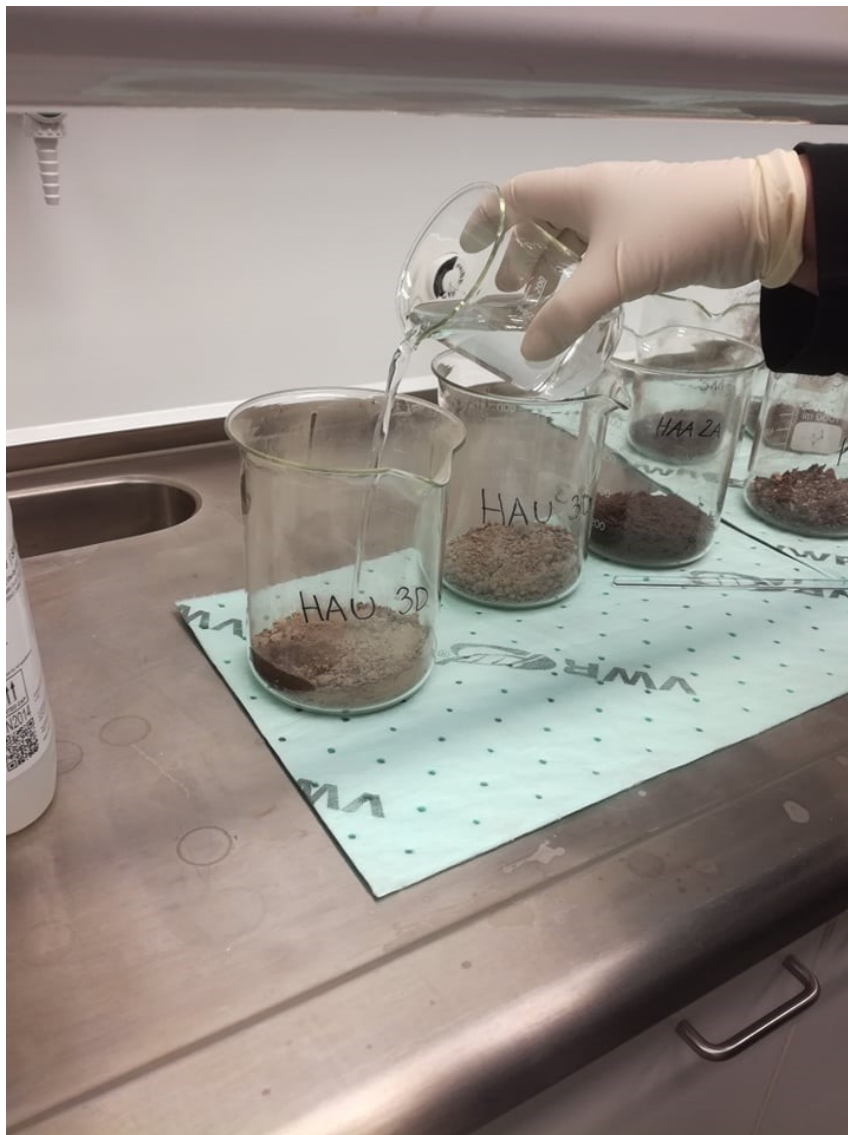
ma = upokkaan paino (g)

Menetelmän virhelähteenä on se, että haihtuneen kideveden kalsiumkarbonaatin hajotessa haihtuneen hiilidioksidin määrää on vaikea arvioida tarkasti. Lisäksi humusaineet voivat olla jakautuneet epätasaisesti tutkittavissa näytteissä.



Kuva 19. Hehkutushäviönäytteet.

Hehkutushäviökokeen suorittamisen jälkeen näytteistä poistettiin orgaaninen aines vetyperoksidikäsitteilyn avulla ennen seulonnan suorittamista. Vetyperoksidikäsitteily tehtiin SFS-EN ISO 17892-4:2016 -standardin mukaisesti. Näytteet mitattiin dekanterilasiin, jonka jälkeen ne punnittiin. Punnituksen jälkeen näytteet siirrettiin vetokaappiin, jossa niihin lisättiin asteittain yhteensä 150 ml 30 % vetyperoksidia (Kuva 20). Näytteitä sekoitettiin vetyperoksidin lisäämisen yhteydessä ja niiden annettiin seisoa yön yli huoneenlämmössä. Tämän jälkeen näytteitä kuumennettiin, jotta kiehumisen avulla saatiin ylimääräinen neste haihtumaan. Jäljelle jäänyt maa-aines eroteltiin liuoksesta suodattamisen avulla. Suodatuksen jälkeen näytteet kuivattiin yön yli 60°C.



Kuva 20. Vetyperoksidikäsitteily

7.3.2 Rakeisuus

Maalajien rakeisuudella tarkoitetaan sen sisältämien kivilaji- ja mineraalirakeiden kokojakaumaa. Sedimentit nimetään niiden raekoon mukaan ja lisäksi raekoko tarjoaa tärkeää tietoa esim. aineksen lajittumis- ja kerrostumisolosuhteista. Maalajista riippuen rakeisuus voidaan määrittää erilaisia menetelmiä käyttäen, joita ovat kuivaseulonta, pesuseulonta, hydrometrikoe tai partikkelianalysaattori. Kukin menetelmä soveltuu erilaisille maalajeille. Kuivaseulonta soveltuu hyvin karkearakeisille näytteille, kuten hiekoille ja sorille. Pesuseulontaa käytetään puolestaan sellaisille maalajeille, joissa esiintyy sekä hienoja että karkeita aineksia. Hydrometrikoea käytetään hienorakeisten maalajien, kuten savien, rakeisuusmäärittäykseen. Partikkelianalysaattorin toiminta perustuu näyteliikkeen sedimentoitumisaikaan. Partikkelianalysaattori mittaa sedimentoitumisnopeuden näytteen läpäisevän röntgensäteen vaimenemisen perusteella. Näytteiden silmämääräisen tarkastelun perusteella analyysimenetelmäksi valikoitui kuivaseulonta ja lisäksi hienoainekseksi (alle 0,5 mm) suoritettiin analyysit partikkelianalysaattorin avulla. Kuivaseulontaan valikoitui hehkutushäviökokeen jälkeen 13 näytettä, koska muiden näytteiden orgaanisen aineksen pitoisuus oli hehkutushäviökokeen jälkeen niin suuri, että ne pystyttiin sen perusteella nimeämään eloperäisiksi maalajeiksi.

Seulontakoe suoritettiin SFS-EN ISO 17892-4:2016 -standardin mukaisesti. Kuivaseulontaa varten näytteitä otettiin keskimäärin noin 120 g näytettä kohden. Näytteet mitattiin 0,1 g tarkkuudella ja kaadettiin seulasarjaan (seulakoot 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2 mm). Näytettä täytettiin seulasarjassa 10 minuutin ajan (Kuva 21), jonka jälkeen näyte punnittiin kultakin seualta 0,1 g tarkkuudella ja kirjattiin tulokset tutkimuslomakkeelle. Kullekin seualle jääneestä materiaalista laskettiin prosenttiosuus koko näytemäärästä. Lisäksi laskettiin kunkin seulan läpäisseen aineksen kumulatiivinen prosenttimäärä. Näiden laskutoimenpiteiden avulla saatiin piirrettyä rakeisuuskäyrä käyräpohjalle. Menetelmän yleisimpiä virhelähteitä ovat rikkinäiset tai epäpuhtaat seulat, jotka aiheuttavat virheitä punnitukseen. Lisäksi huolimaton punnitus voi aiheuttaa virheitä.

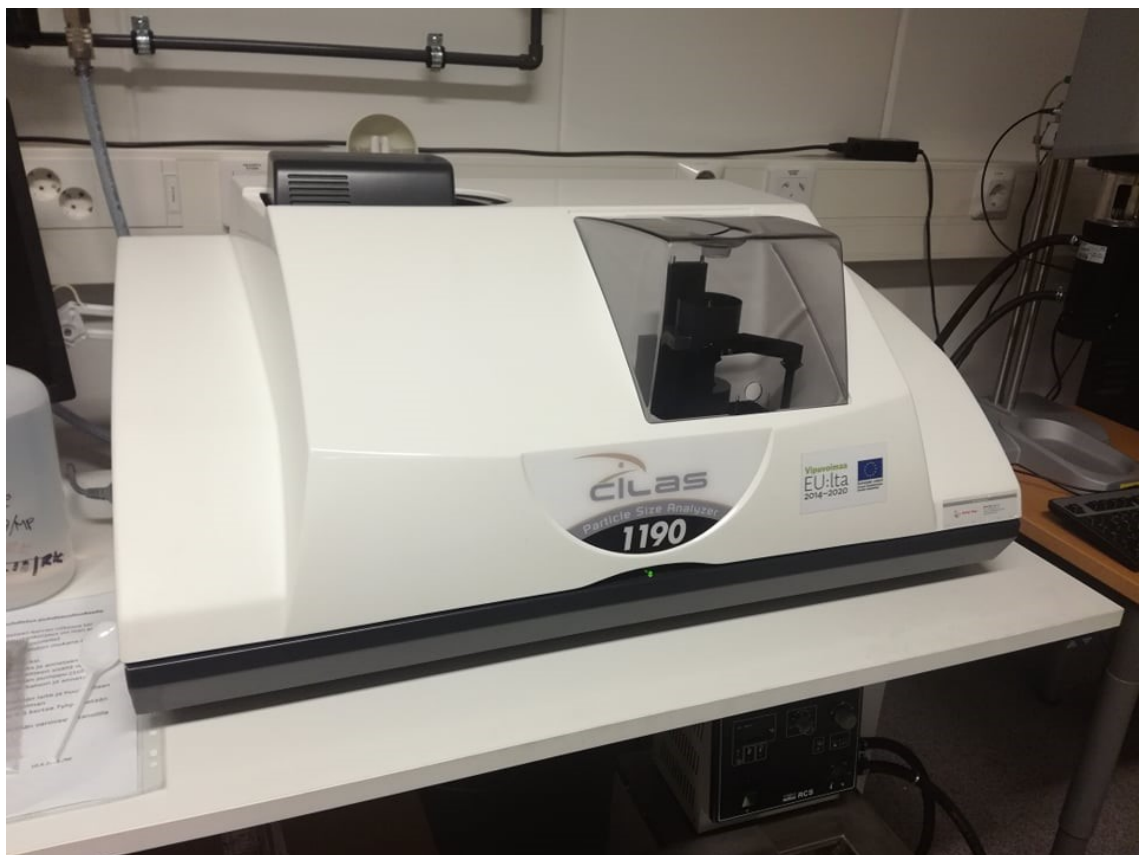


Kuva 21. Tärytin

7.3.3 Partikkelianalysaattori

Seulontakokeiden suorittamisen jälkeen saatujen tulosten perusteella 3 näytettä valikoitui jatkokäsittelyyn partikkelianalysaattorilla. Näissä kolmessa näytteessä 0,063 mm seulan läpäisseen fraktion osuus oli niin suuri, että hienoainesanalyysin katsottiin olevan tarpeellinen. Partikkelianalysaattori (Anton paar) (Kuva 22) on suunniteltu mittaamaan partikkelikoot $0,04 \mu - 2500 \mu\text{m}$ välillä niin, ettei välissä tarvitse vaihtaa optiikkaa tai

kalibroida laitetta. Laitteen toiminta perustuu näytelietteen sedimentoitumisaikaan. Partikkelianalysaattori mittaa sedimentoitumisnopeuden näytteen läpäisevän röntgensäteen vaimenemisen perusteella. Laitteen avulla voidaan analysoida sekä nestemäistä suspensiossa olevaa näytettä tai kuivaa näytettä. Valikoiduissa näytteissä oli vetyperoksidikäsittelyn jälkeenkin vielä niin paljon orgaanisen materiaalin jäämiä, että analyysit oli suoritettava nesteinä suspensiossa. Tulokset saatiin tietokoneohjelman avulla digitaalisina.



Kuva 22. Partikkelianalysaattori

7.4 Tilastollinen analyysi

Kaikki tilastolliset analyysit tehtiin R-ohjelman (R Development Core Team 2019) vegan-paketilla (vegan 2.5-5). R-ohjelman versio oli 3.6.0 (2019-04-26) ”Planting of a Tree” (Copyright (C) 2019 The R Foundation for Statistical Computing) (Oksanen ym.

2019). Tilastollisen analyysin tarkoituksena on selvittää, mitkä fysikogeokemialliset asiat vaikuttavat bakteeriyhteisöjen muodostumiseen.

Moniulotteisen ordinaatioanalyysin avulla (NMDS, Non-metric Multidimensional Scaling; funktio metaMDS) tarkasteltiin visuaalisesti vaikuttaako tutkimuslinjan maaperän kosteus ja näytepisteen etäisyys purosta bakteerien yhteisörakenteeseen. NMDS-analyysi laskee kunkin näytepisteen etäisyyden toisiin näytepisteisiin bakteerilajiston perusteella. Mitä samankaltaisemmat yhteisöt näytteissä on, sitä lähempänä toisiaan ne sijaitsevat ordinaatiosovituksessa. NMDS-ordinaatiota varten bakteerit ryhmiteltiin kahdeksaan ryhmään. Ryhmäjako perustuu tutkimuslinjojen tutkimuspisteiden etäisyyksiin (1 m, 3 m, 9 m ja 20 m) sekä siihen onko näyte kostealta vai kuivalta tutkimuslinjalta. Jotta NMDS-sovitusta voitiin todeta riittävän luotettavaksi, sovituksen stressitaso täytyi olla alle 0,2. NMDS-sovituksen stressitasoksi saatiin 0,1067. Sovituksessa sallittiin kolme ulottuvuutta ($k=3$) ja etäisyysmittana käytettiin Bray-Curtis yhteisöetäisyyksiä. Ordinaation avulla voitiin myös tarkastella näytteiden sijaintia NMDS-akseleilla.

(Permutational Multivariate Analysis of Variance: funktio adonis paketissa vegan), jolla tarkastellaan lajikoostumusten eroja tutkittavissa ryhmissä. Adonis-analyysissä permutaatioiden määrä oli 9999, joka tarkoittaa kuinka monella tapaa arvoja järjestellään uudestaan suhteessa toisiinsa. Eroja tutkittiin bakteeridatan ja taustadatan kuivien ja kosteiden linjojen 1 m, 3 m, 9 m ja 20 m etäisyyksiltä otettujen näytteiden välillä.

Ympäristömuuttujien korrelaatiota bakteeriyhteisöjen kanssa tarkasteltiin bioenv-funktiolla (Best Subset of Environmental Variables with Maximum Correlation with Community Dissimilarities). Analyysi etsii joukon ympäristömuuttujia, jotka vahvimmin korreloivat yhteisöjen kanssa. Korrelaatio laskettiin euklidisten ympäristöetäisyyksien ja Bray-Curtis yhteisöetäisyyksien välille.

Ympäristömuuttujien sovitusta yhteisörakenteeseen tehtiin envfit-funktion avulla. Analyysissä ympäristömuuttujat sovitetaan vektoreina. Funktio laskee jokaisen ympäristömuuttujan tilastollisen merkittävyyden permutaatiotestin ($n=999$) avulla ja käyttää sovituksen onnistuneisuuden arviointiin korrelaatiokertoimen neliötä (r^2 -

statistiikkaa). Korrelaation tilastollisen merkitsevyyden määrittämiseksi analyysi laskee muuttujille p-arvon. Envfit-analyysin visuaaliseen esitykseen sisällytettiin ne ympäristömuuttujat, jotka tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,05$) vaikuttivat näytteiden sijaintiin ordinaatiossa. Merkitsevät ympäristömuuttujat esitettiin ordinaatiossa nuolina, jotka osoittivat suunnan, johon muuttuja pääasiassa kasvaa. Nuolen pituus on skaalattu korrelaatiokertoimella, toisin sanoen pituus osoittaa, kuinka vahvasti muuttuja korreloi bakteeriyhteisöjen kanssa.

8 TULOKSET

Tutkimusmenetelmät sekä tulokset ja niiden tulkinta on jaettu kahteen osaan: purokohtaisiin maaperän ominaisuuksiin ja ympäristömuuttujien vaikutukseen maaperäbakteerien yhteisörakenteessa. Kvalitatiivisissa tutkimuksissa, kuten tutkimuspurojen näytelinjojen maaperä- ja laboratorioanalyysseissa on keskitytty tulosten perusteellisempaan analysointiin ja tutkimuslinjojen näytepisteiden sekä purojen keskinäiseen vertailuun.

Kvantitatiivisiin tutkimuksiin luetellaan R-ohjelmointikielellä tehdyt envfit- ja bioenv-analyysit, joiden keskeisimpänä hypoteesina on ollut, että kuivien ja kosteiden purolinjojen mikrobilajistossa ja -määrissä on eroavaisuuksia.

8.1 Purokohtaiset maaperän geologiset ominaisuudet

8.1.1 Hehkutushäviö

Taulukossa 2 on esitetty hehkutushäviömääritykseen valittujen näytteiden tulokset. Tuloksissa on esitetty näytteittäin hehkutushäviöprosentti, jonka perusteella voidaan määrittää ovatko näytteet humusmaata vai mineraalimaata. Näytteiden massan prosentuaalisen osuuden ollessa humusmaata yli 20 %, maalaji määritellään geoteknisen luokittelun perusteella orgaaniseksi materiaaliksi. Tämän perusteella tutkimusnäytteistä näytteet HAA3A, JOU1A, JOU1D, JOU4A, JOU4D, KOI1A, KOI1D, LAM2A, LAM2D ja LAM3A ovat pääosin humuspitoisia.

Taulukko 2. Hehkutushäviömäärityksessä määritetyt hehkutushäviöprosentit.

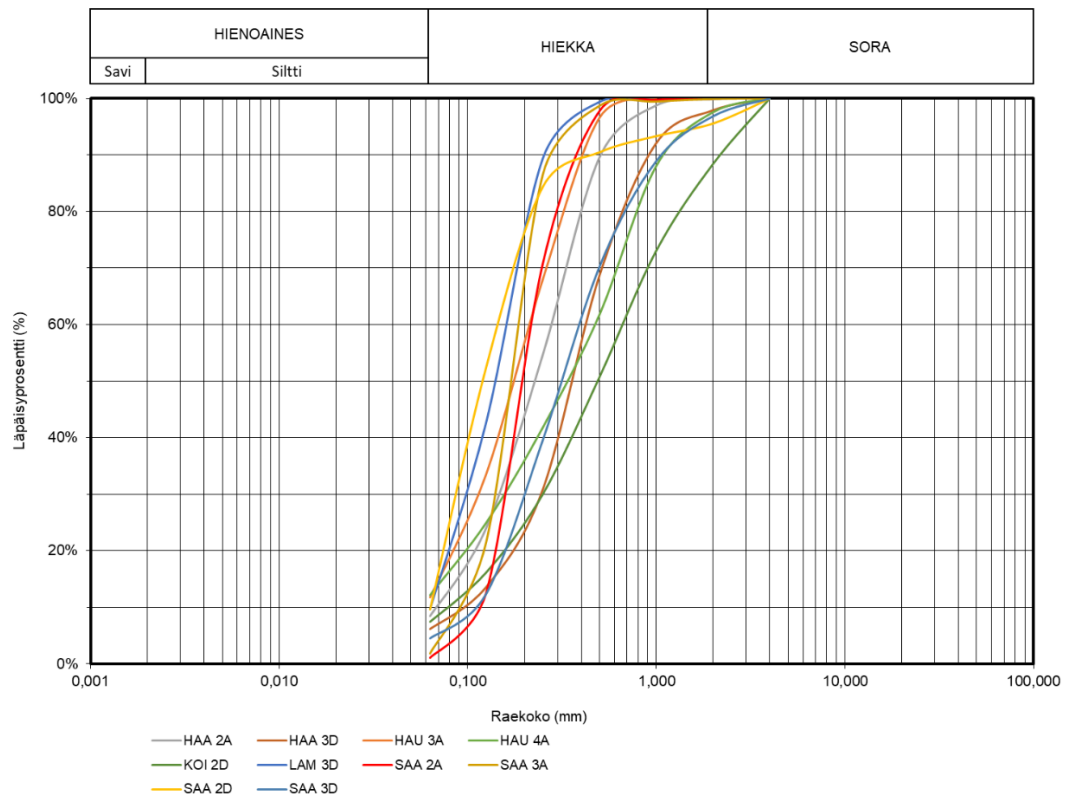
Näyte	Upokkaan nro	Upokkaan paino (g)	Upokas + näyte	Kuivapaino (g)	Hehkutuspaino (g)	Hehkutushäviö %
HAA 2A	73	12,465	16,119	15,379	15,085	10,08
HAA 2D	44	11,436	14,819	14,150	13,840	11,43
HAA 3A	67	11,297	14,164	12,786	12,254	35,71
HAA 3D	53	11,644	18,672	18,664	18,565	1,42
HAU 3A	16	11,482	14,321	14,272	13,941	11,88
HAU 3D	11	11,957	16,495	16,421	15,840	13,02
HAU 4A	52	12,213	17,444	17,387	16,839	10,59
HAU 4D	69	11,974	18,658	18,620	18,197	6,37
JOU 1A	74	11,122	13,328	11,873	11,360	68,27
JOU 1D	60	11,954	13,996	12,478	11,978	95,39
JOU 4A	31	11,925	15,170	13,701	13,323	21,24
JOU 4D	61	11,871	13,979	12,133	11,890	92,55
KOI 1A	59	11,595	13,439	13,296	12,378	54,00
KOI 1D	64	11,759	13,975	13,227	12,790	29,80
KOI 2A	75	12,248	16,018	14,941	14,439	18,64
KOI 2D	1	11,900	15,919	15,871	15,235	16,02
LAM 2A	15	11,517	14,127	13,096	12,725	23,48
LAM 2D	25	12,169	14,151	12,749	12,423	56,13
LAM 3A	70	11,599	13,948	12,593	12,239	35,56
LAM 3D	36	12,021	18,638	18,625	18,414	3,20
SAA 2A	48	11,654	17,523	17,501	17,221	4,79
SAA 2D	32	11,669	17,316	17,300	17,058	4,29
SAA 3A	57	11,546	18,062	18,029	17,661	5,67
SAA 3D	41	12,190	18,911	18,900	18,692	3,09

8.1.2 Raekoko

Maalajianalyysihin valikoituneista 24 näytteestä 10 osoittautui hehkutushäviökokeen tulosten perusteella hyvin humuspitoisiksi. Nämä 10 näytettä pystyttiin hehkutushäviökokeen perusteella nimeämään eloperäisiksi maalajeiksi, eikä niille tarvinnut suorittaa seulontakoetta. Seulontakokeisiin valikoitui 13 näytettä, joiden seulonta suoritettiin kuivaseulontana (seulasarja 0,063 mm, 0,125 mm, 0,250 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm). Kuivaseulontakokeen perusteella pystyttiin d₅₀-menetelmän avulla nimeämään 10 näytettä hiekaksi. Kolme näytteistä sisälsi niin paljon hienoainesfraktiota, että ne jatkoanalysoitiin partikkelianalysaattori.

Kuvassa 23 on esitetty kuivaseulontaan valittujen näytteiden raekokotulokset. Kuten edellä mainittiin, näytteet olivat pääsääntöisesti hyvin hiekkapitoisia. Näytteiden välinen hajonta oli verrattain vähäistä. Suurimmat hiekkapitoisuudet saatiin SAA2A, SAA3A, LAM3D ja HAU3A näytteistä. Hiekkapitoisuus oli pienin näytteissä KOI 2D. KOI 2D näytteen seulontatulokset poikkesi silminnähden muista seulontatuloksista, sillä kyseinen näyte sisälsi muihin verrattuna selvästi enemmän karkeaa maalajifraktiota.

Kuivaseulonnan avulla saadut tulokset olivat maalajin nimeämisen kannalta riittäviä. Tulosten perusteella voitiin varmistua siitä, että näytteet olivat pääasiassa hiekkaa, eikä erillistä pesuseulontaa tai hydrometrikokeita tarvittu hienommalle fraktiolle.



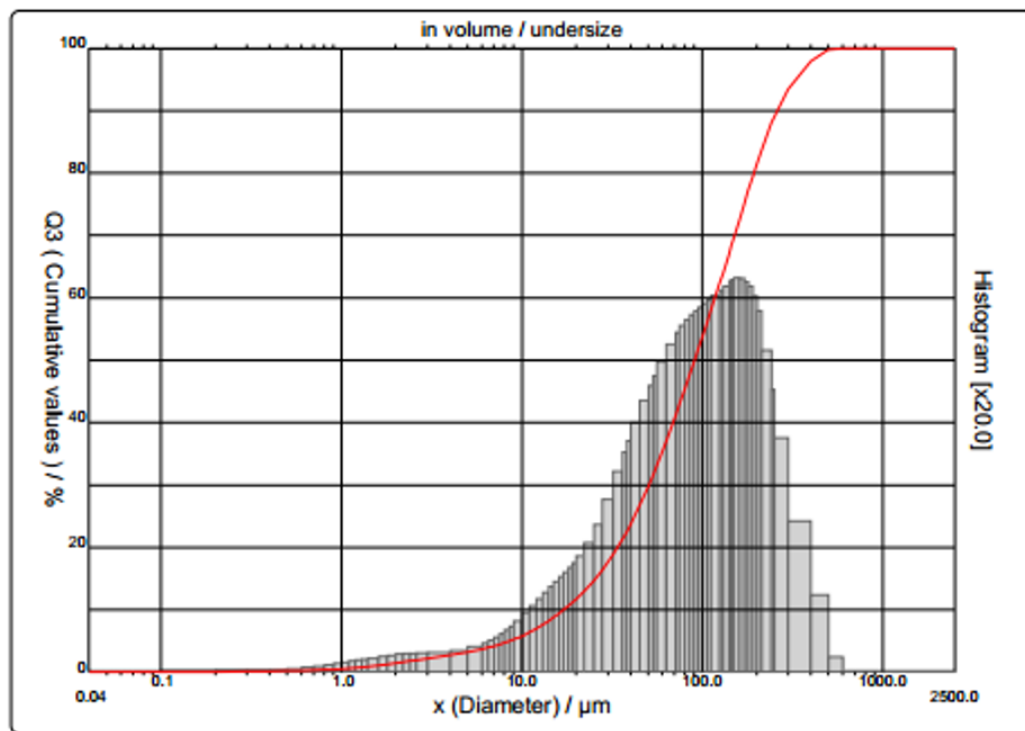
Kuva 23. Kuivaseulontakokeen raekokotulokset

8.1.3 Hienoainespitoisuus

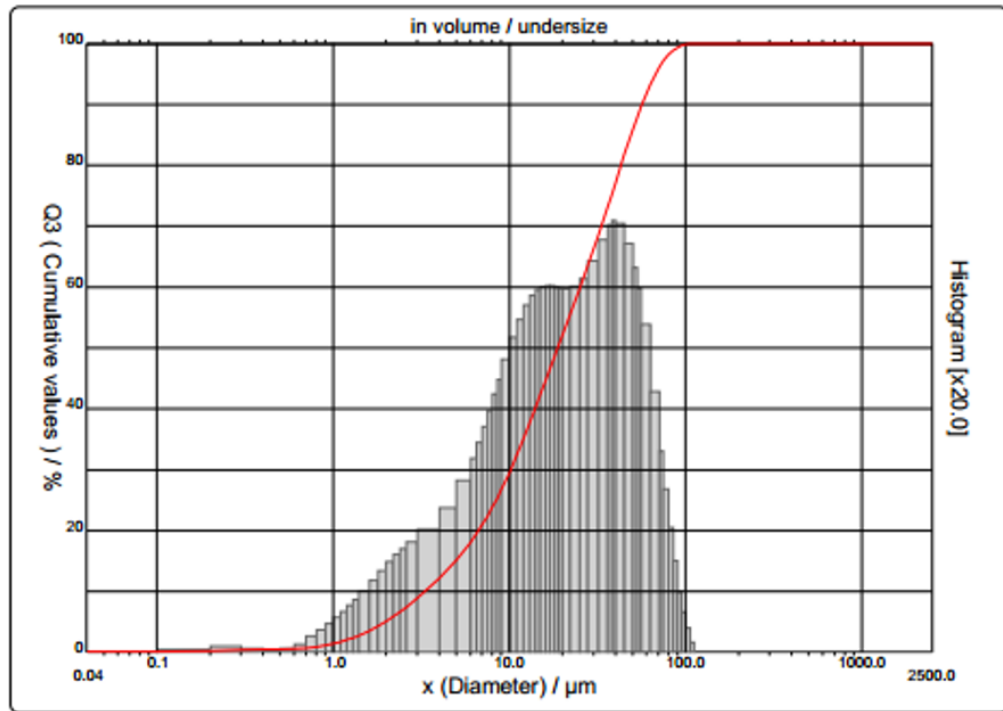
Kuivaseulontatulosten pohjalta pystyttiin nimeämään varsin luotettavasti maalajiluokat tutkimuspuroista valituille näytteille. Näytteille suoritettujen hehkutushäviömääritysten sekä kuivaseulontojen jälkeen ainoastaan kolmelle näytteelle päätettiin tehdä partikkelianalysaattorikokeet käyttäen Oulun yliopiston Anton paar-analysaattoria.

Tutkimukseen valikoituneet näytteet olivat HAA2D, HAA3D ja HAU4D. Geoteknisen maalajiluokituksen mukaisesti hienoaineksen raekoko on $<0,06\text{ mm}$. HAA2D näytteessä hienoainesta oli noin 35 %. HAA3D näytteessä hienoainesta oli noin 90 % ja HAU4D

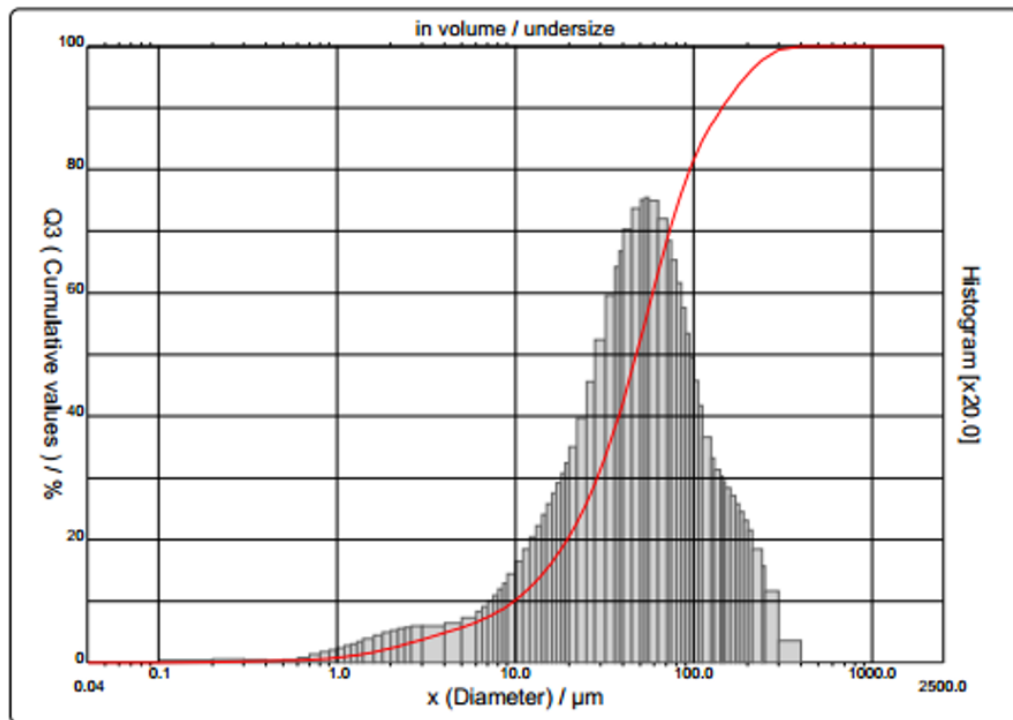
näytteessä hienoainesta oli noin 70 %. HAA2D Anton paar-analysaattorin raekokokäyrä on esitetty kuvassa 24, HAA3D kuvassa 25 ja HAU4D kuvassa 26. Anton paar-analysaattorin tulokset kokonaisuudessaan löytyvät liitteestä 2.



Kuva 24. HAA2D partikkelianalysaattorin raekokokäyrä



Kuva 25. HAA3D partikkelianalysaattorin raekokokäyrä



Kuva 26. HAU4D partikkelianalysaattorin raekokokäyrä

Anton paar-analyssaattoritulosten perusteella d_{50} -menetelmää käyttäen HAA2D on maalajiltaan hiekkaa ja HAA3D ja HAU4D ovat silttiä. Analyssaattoritulosten perusteella näytteiden savipitoisuus oli matala, eikä vaikuta nimeämiseen.

8.1.4 Laboratorioanalyysit

Laboratorioanalyysieihin valikoitui samat näytteet kuin aikaisempiin tutkimuksiin. Näytteitä analysoitiin kuudesta tutkimuspurosta, josta kunkin puron tutkimuspisteen tutkimuslinjasta valittiin 1 m ja 20 m näytteet. Näytteitä on näin ollen 48 kappaletta.

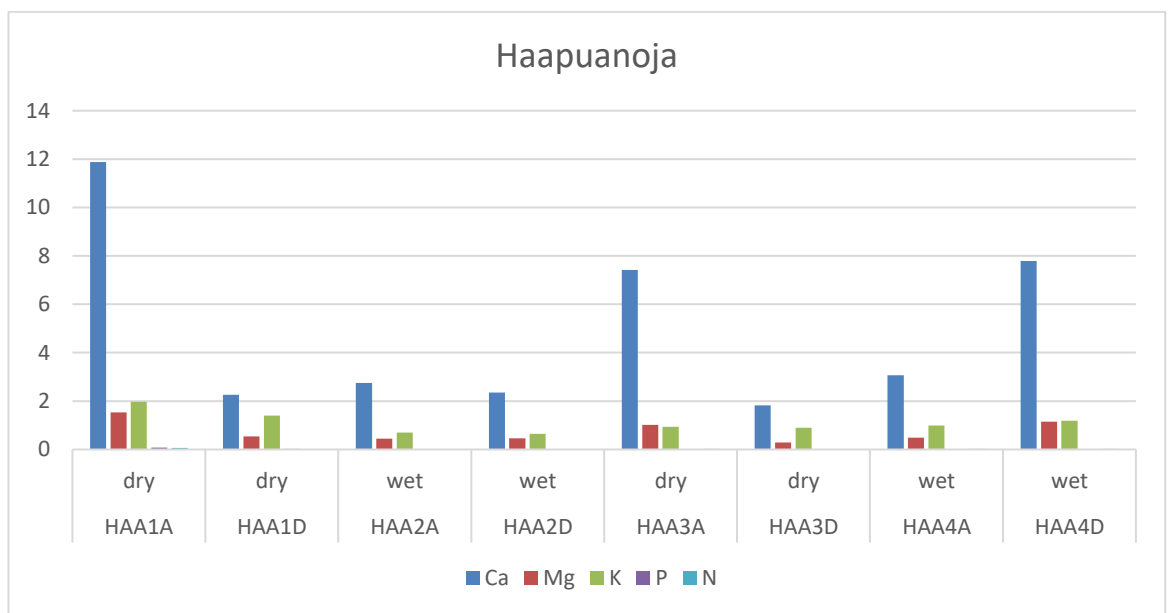
Näytteistä tutkittiin niiden kalsium-, magnesium-, kalium-, fosfori- ja typpipitoisuus. Lisäksi mitattiin sähkönjohtokyky sekä pH-arvo.

Tutkimuspurojen ja niiden tutkimuslinjojen välisissä tuloksissa oli melko suurta vaihtelua alkuainepitoisuuksien osalta. Näytteiden kalsiumpitoisuus vaihteli välillä 0,19-13,8 mg/g. Kalsiumpitoisuuden mediaani on 1,7 mg/g. Korkein pitoisuus mitattiin tutkimuspisteestä KOI1A (13,8 mg/g). Muutamissa näytepisteissä, kuten HAU2A (5,67 mg/g), HAU4A (7,79 mg/g) ja SAA4A (5,72 mg/g) kalsiumpitoisuudet olivat myös verrattain korkeita. Pääsääntöisesti kalsiumpitoisuus vaihteli noin välillä 0,2-4 mg/g.

Näytteiden magnesiumpitoisuuksien välillä vaihtelu oli vähäisempää kuin kalsiumpitoisuuksien kanssa. Magnesiumpitoisuudet vaihtelivat välillä 0,11-3,13 mg/g. Mediaanipitoisuus oli 0,53 mg/g. Kalium-, typpi- ja fosforipitoisuudet olivat pieniä kaikissa näytteissä. Kaliumpitoisuudet vaihtelivat välillä 0,26-1,97 mg/g mediaanipitoisuuden ollessa 0,74 mg/g. Typpipitoisuus vaihteli välillä 0,0009-0,075 mg/g mediaanipitoisuuden ollessa 0,005 mg/g. Fosforipitoisuus vaihteli välillä 0,0027-0,069 mg/g mediaanipitoisuuden ollessa 0,008 mg/g. Huolimatta typen ja fosforin pienistä pitoisuuksista, ne ovat esitetty purokohtaisten tutkimuslinjojen taulukkotuloksissa, sillä tulosten välillä on nähtävissä pieniä eroja.

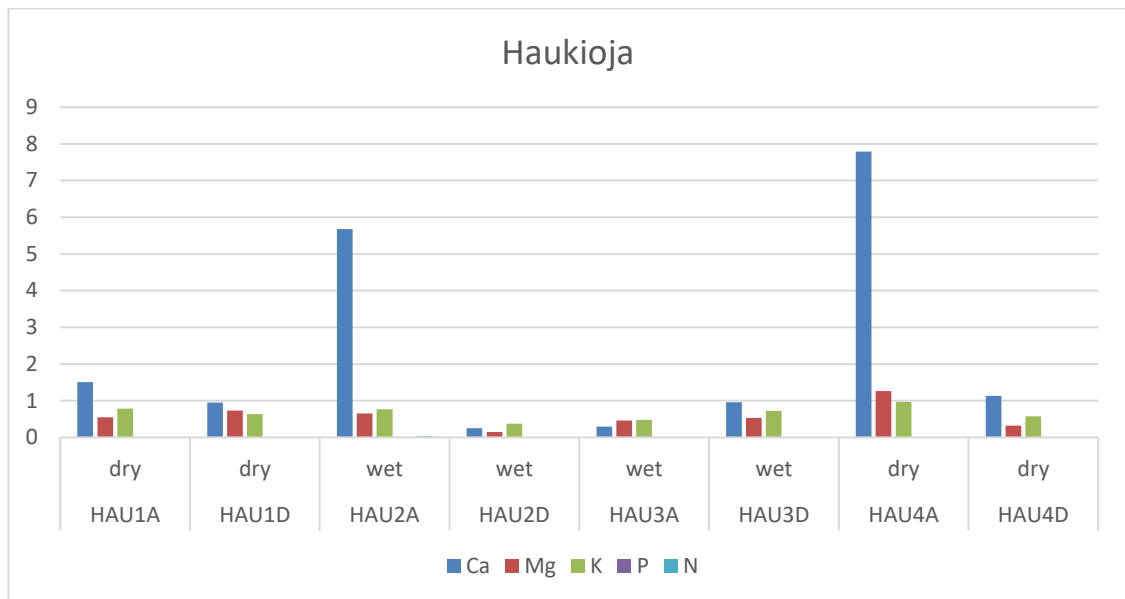
Haapuanojan HAA1 -tutkimuslinjojen 1 m ja 20 m näytteiden analyysituloksissa (Kuva 27) on selviä eroja kalsiumpitoisuuksissa. HAA1A näytteen kalsiumpitoisuus on selvästi suurempi 1 m (A) näytteessä, kuin 20 m (D) näytteessä. Molemmat näytteet ovat kuivia. HAA2 näytteiden välillä ei analyysitulosten perusteella ole juurikaan eroja. Molemmat

näytteet ovat kostealta alueelta. HAA3 näytteet ovat kuivia ja lähimmän ja kauimman näytteen kalsiumpitoisuuksissa on nähtävissä samanlaista korrelaatiota kuin HAA1 näytepisteiden välisissä kalsiumpitoisuuksissa. HAA4 näytepisteet ovat kostealta alueelta ja tutkimuslinjan kauimmaisen näytteen kalsiumpitoisuus on yli kaksinkertainen lähimmän näytteen analyysitulokseen. Magnesium-, kalium-, typpi- ja fosforipitoisuuksissa ei ole nähtävissä merkittäviä eroja eri tutkimuslinjojen ja niiden lähimpien ja kauimpien näytteiden välillä.



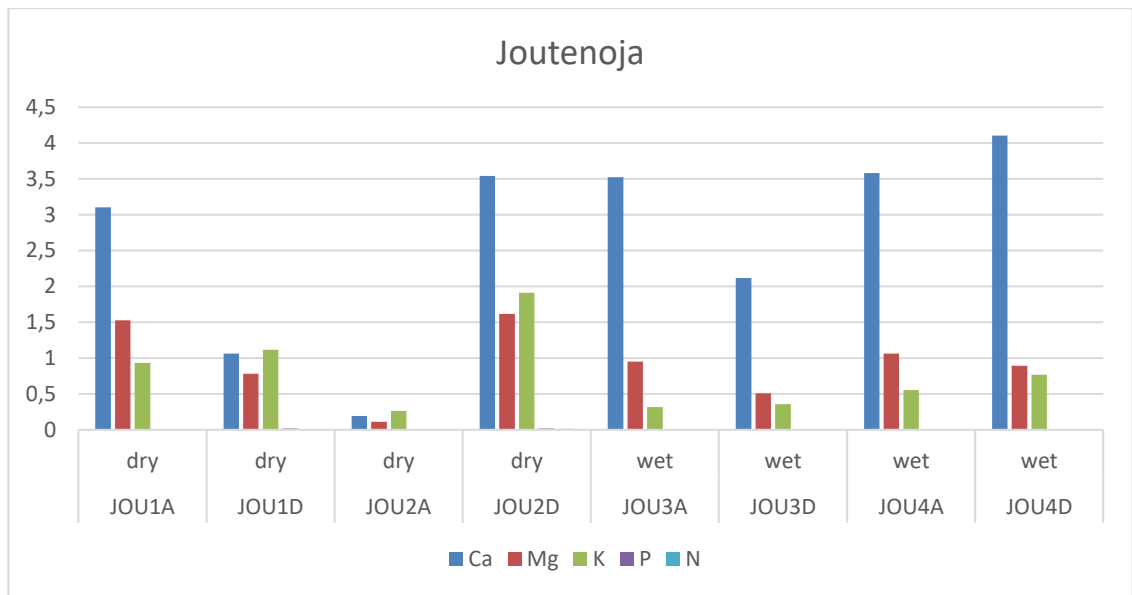
Kuva 27. Haapuanajan neljän tutkimuslinjan 1 m ja 20 m näytteiden analyysitulokset.

Haukiojan analyysituloksissa (Kuva 28) kalsium-, magnesium-, kalium-, typpi- ja fosforipitoisuudet ovat varsin pieniä eikä tutkimuslinjojen A ja D näytteiden analyysitulosten välillä ole havaittavissa merkittäviä vaihteluja, HAU2 ja HAU4 tutkimuslinjoja lukuun ottamatta. HAU2 1 m (A) näytteessä kalsiumpitoisuus on selvästi korkeampi kuin 20 m (D) näytteessä. Näytepisteet ovat kosteita. HAU4 näytepisteen 1 m näytteen kalsiumpitoisuus on jälleen selvästi korkeampi kuin kauimman näytteen, mutta tutkimuslinja on nyt puolestaan kuiva.



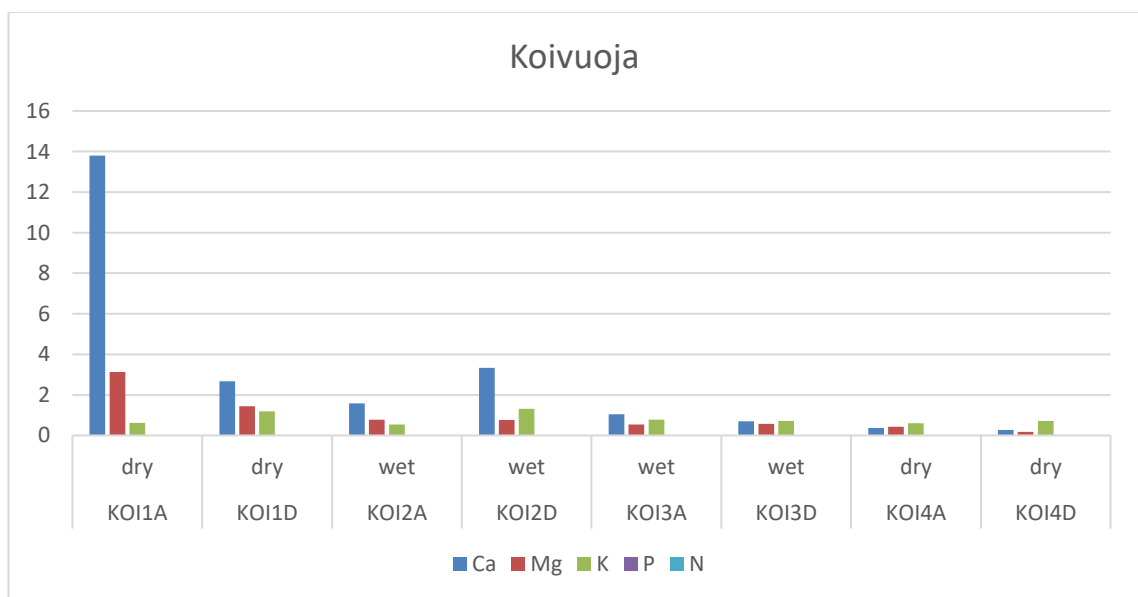
Kuva 28. Haukiojan neljän tutkimuslinjan 1 m ja 20 m näytteiden analyysitulokset.

Joutenojan tutkimuslinjojen näytteiden kalsiumpitoisuudet ovat tasaisempia kuin kahden aiemman tutkimuspuron tutkimuslinjoissa. JOU1 A ja D näytteiden analyysituloksissa kalsiumpitoisuus laskee kauempana puron rannasta. A näytteessä kalsiumpitoisuus on hieman yli 3 mg/g, kun taas D näytteessä pitoisuus on hieman yli 1 mg/g. JOU2 tutkimuslinjan A näytteessä kaikki analysoidut pitoisuudet (Ca, Mg, K, P, N) ovat varsin pieniä. Saman tutkimuslinjan D näytteessä kalsiumpitoisuus vastaa hyvin muiden tutkimuslinjojen pitoisuutta (hieman yli 3 mg/g). JOU2D pisteessä kaliumpitoisuus (n. 2 mg/g) on merkitsevästi muiden näytteiden kaliumpitoisuutta korkeampi. Myös magnesiumpitoisuus on korkeampi kuin muissa pisteissä. JOU3 tutkimuslinjan A ja D näytteissä A näytteen kalsiumpitoisuus on D näytettä korkeampi, mutta muut analysoidut pitoisuudet vastaavat melko hyvin toisiaan. Tutkimuslinjan JOU4 näytteiden välillä ei ole havaittavissa selkeitä eroja.



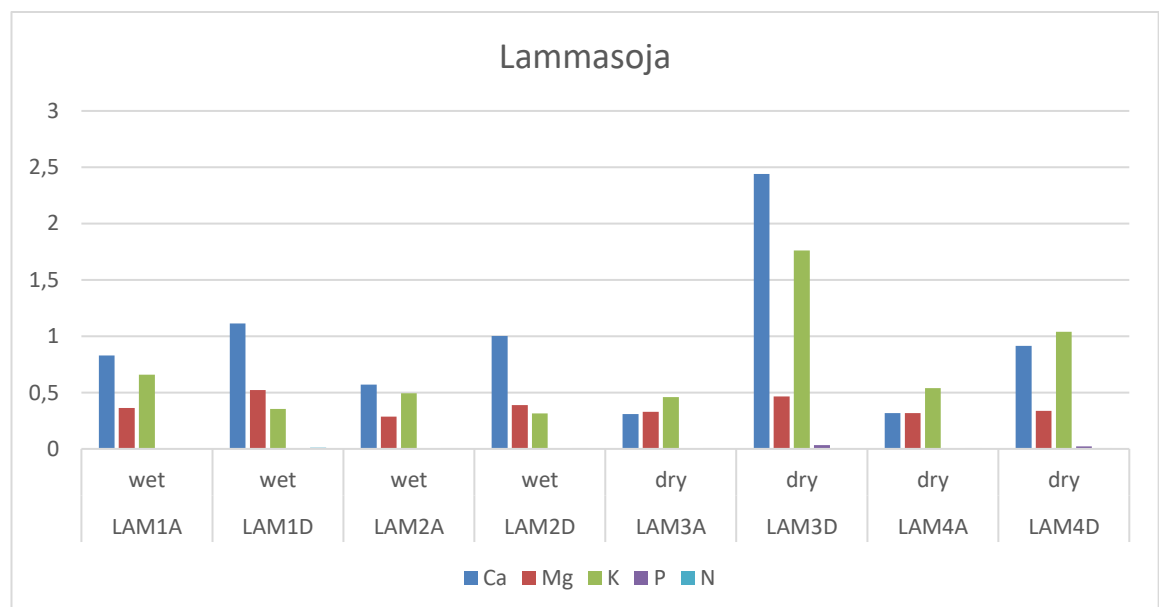
Kuva 29. Joutenojan neljän tutkimuslinjan 1 m ja 20 m näytteiden analyysitulokset.

Koivuojan KOI1A 1 m näytteen kalsiumpitoisuus on analysoiduista näytteistä korkein (Kuva 30). KOI1A näyte jouduttiin poistamaan R-analyyseista, koska saaduissa tuloksissa ilmeni epäselvyyksiä, jotka vääristivät kvantitatiivisten tulosten analysointia. Muiden tutkimuslinjojen näytteiden pitoisuudet ovat hyvin pieniä eikä A ja D näytteiden välilläkään ole havaittavia eroja.



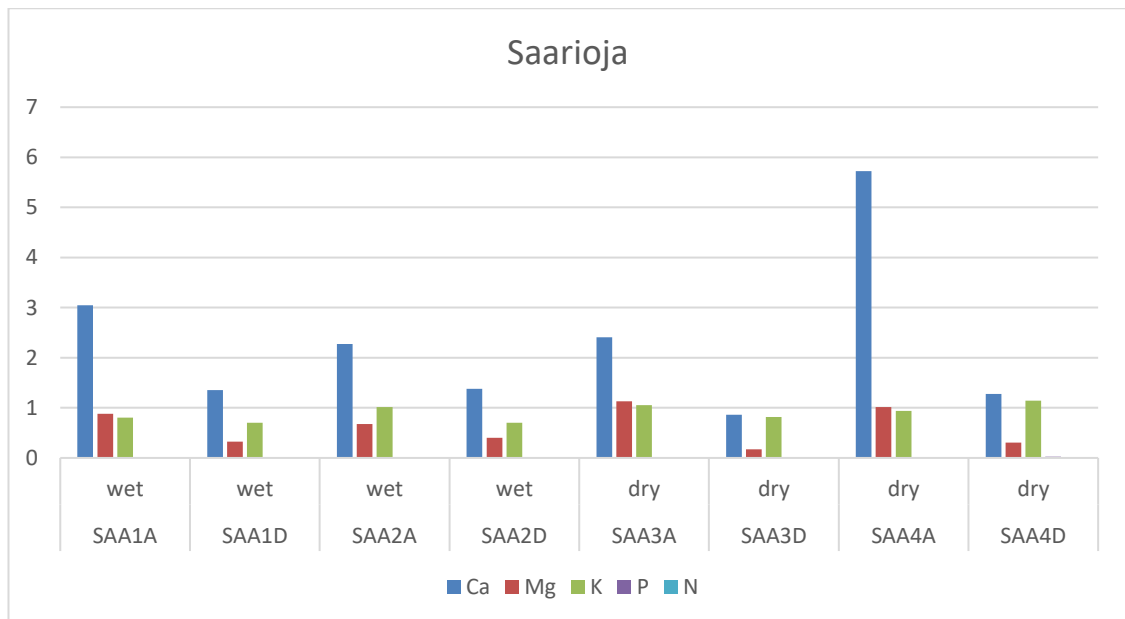
Kuva 30. Koivuojan neljän tutkimuslinjan 1 m ja 20 m näytteiden analyysitulokset.

Lammasojan analyysituloksien perusteella tutkimuslinjojen A ja D näytteet vastaavat hyvin toisiaan, lukuun ottamatta LAM3 tutkimuslinjaa (Kuva 31). LAM3D (20 m) näytteen kalsium- ja kaliumpitoisuudet ovat merkitsevästi LAM3A (1 m) näytettä korkeampia, kuten myös muiden tutkimuslinjojen A ja D näytteiden kalsium- ja kaliumpitoisuuksiin verrattuna. Muiden tutkimuspurojen tutkimuslinjojen näytteisiin verrattuna kalsiumpitoisuus ei ole kuitenkaan LAM3D näytteessä poikkeuksellisen korkea. Sen sijaan kaliumpitoisuus on aavistuksen korkeampi kuin kaikkien näytteiden analyysituloksissa keskimäärin.



Kuva 31. Lammasojan neljän tutkimuslinjan 1 m ja 20 m näytteiden analyysitulokset.

Saariojan tutkimuslinjojen näytteiden analyysituloksissa (Kuva 32) on havaittavissa selkeä ero muiden tutkimuspurojen tutkimuslinjojen A ja D näytteisiin verrattuna. Saariojan A ja D näytteiden kalsiumpitoisuus on poikkeuksetta korkeampia lähempänä tutkimuspuron rantaa (1 m), kuin kauemmassa näytteessä (20 m). Muiden kuin kalsiumpitoisuuksien osalta erot ovat vähäisiä. SAA4A näytteen kalsiumpitoisuus on selvästi muita näytepisteitä korkeampi (n. 5,7 mg/g).



Kuva 32. Saariojan neljän tutkimuslinjan 1 m ja 20 m näytteiden analyysitulokset.

8.1.5 pH-arvo, sähkönjohtavuus, TOC

Tutkimuspurojen tutkimuslinjojen A ja D näytteiden pH-arvoissa ei ole havaittavissa suuria eroja (Taulukko 3). Näytteiden pH-arvot vaihtelivat happaman ja lievästi happaman välillä ollen 3,6-5,6. Korkein pH-arvo mitattiin näytteestä KOI1A. Alhaisimmat pH-arvot puolestaan mitattiin näytteistä JOU1D ja LAM3D. A ja D näytteiden keskinäisessä vertailussa pH-arvot olivat aavistuksen korkeampia tutkimuspuron rannan läheisyydessä (1 m), kuin kauempana rannasta (20 m).

Tutkittujen näytteiden sähkönjohtavuudet vaihtelivat välillä 18,77- 80,0 $\mu\text{s/cm}$, joten vaihteluväli oli melko suuri. Sähkönjohtavuuden keskiarvo oli noin 47 $\mu\text{s/cm}$. Korkeimmat sähkönjohtavuuden arvot mitattiin näytteistä JOU1D (80 $\mu\text{s/cm}$), JUIA (66,5 $\mu\text{s/cm}$), KOI2D (64,3 $\mu\text{s/cm}$) ja LAM3D (66,7 $\mu\text{s/cm}$). Alhaisimmat sähkönjohtavuuden arvot mitattiin tutkimuspisteistä KOI2A (25,25 $\mu\text{s/cm}$) ja LAM2D (18,77 $\mu\text{s/cm}$).

Kokonaishiilen osalta vaihteluväli oli suuri. TOC vaihteli välillä 4,7-55. Korkeimmat TOC-pitoisuudet mitattiin tutkimuspisteistä JOU1D (55), JOU4D (50) ja JUIA (40).

Alhaisimmat TOC-pitoisuudet mitattiin tutkimuspisteistä HAA2A (6,6), HAA2D (6,2), HAU3A (4,7), HAU3D (5,9) ja HAU4D (5,9).

Taulukko 3. Tutkimuspurojen A ja D näytteiden pH-arvot, sähkönjohtavuus sekä TOC.

		Johtokyky μS/cm	pH	TOC
HAA2A	wet	50,00	4,2	6,6
HAA2D	wet	51,40	4,0	6,2
HAA3A	dry	48,90	4,5	22,0
HAA3D	dry	38,60	3,8	14,0
HAU3A	wet	38,60	4,2	4,7
HAU3D	wet	32,70	3,9	5,9
HAU4A	dry	54,80	4,0	17,0
HAU4D	dry	36,70	3,8	5,9
JOU1A	dry	66,50	4,2	40,0
JOU1D	dry	80,00	3,6	55,0
JOU4A	wet	43,50	4,8	13,0
JOU4D	wet	52,60	4,5	50,0
KOI1A	dry	37,30	5,6	21,0
KOI1D	dry	48,10	3,8	29,0
KOI2A	wet	25,25	4,3	15,0
KOI2D	wet	64,30	3,7	22,0
LAM2A	wet	36,10	4,2	11,0
LAM2D	wet	18,77	4,5	30,0
LAM3A	dry	33,60	4,1	15,0
LAM3D	dry	66,70	3,6	17,0
SAA2A	wet	58,60	4,0	11,0
SAA2D	wet	39,00	3,9	20,0
SAA3A	dry	58,30	3,7	16,0
SAA3D	dry	37,00	3,7	20,0

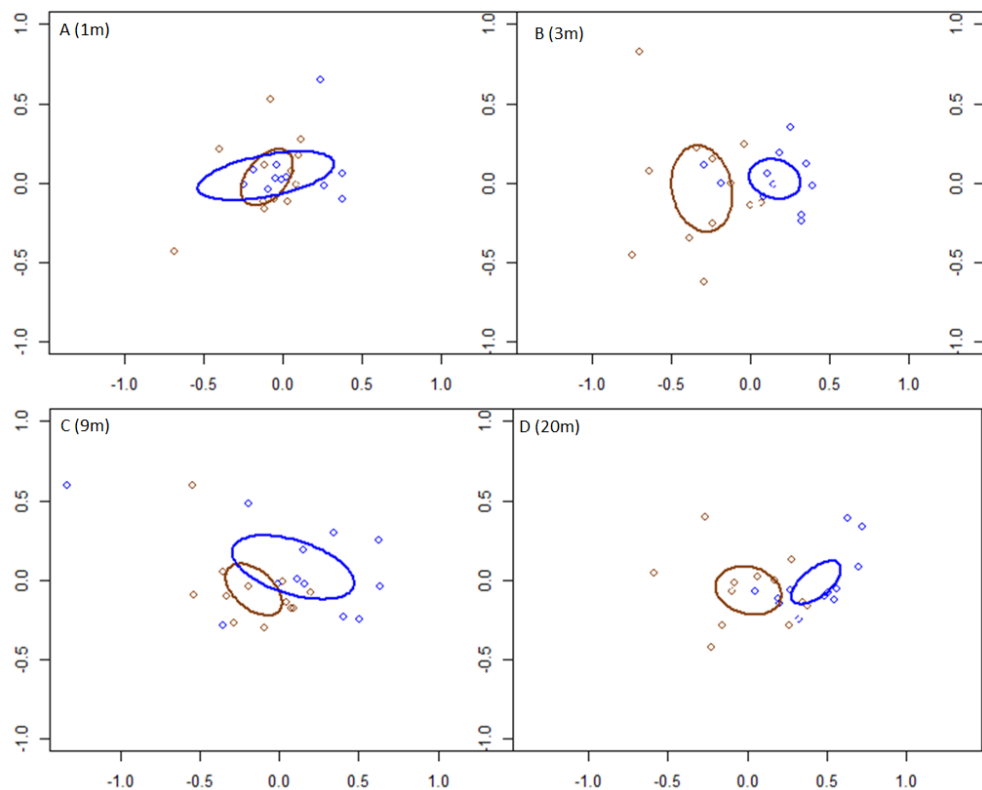
8.2 Ympäristömuuttujien vaikutus maaperäbakteerien yhteisörakenteeseen

Kvantitatiiviset tulokset tuotettiin käyttämällä näytteiden DNA-eristyksen avulla saatua bakteeriaineistoa ja vaihtelevia ympäristömuuttujia. Tulosten tarkoituksena oli pyrkiä selvittämään, kuinka tutkimuslinjojen eri etäisyyksiltä purosta otettujen näytepisteiden

bakteeriaineisto korreloi keskenään ja minkälainen vaikutus on sillä, onko näytepiste kuiva vai kostea.

Kuvassa 33 on esitetty NMDS-ordinaatiosovitus bakteeriaineistolle, jossa näytepisteet on jaoteltu 1 m, 3 m, 9 m ja 20 m ryhmiin. NMDS-ordinaatiosovitus tehtiin koko tutkitulle aineistolle. Ryhmittelyn sisällä jaottelua määräävä tekijä on se, oliko näyte kuivaksi vai kosteaksi määritetyltä linjalta. Ordinaatiokuvaan lisätty ellipsi on keskiarvon 95 % luottamusraja.

Kuvan 33 A-kuvassa (ylävasen) on esitetty tutkimuslinjan 1 m etäisyydeltä otettujen näytteiden ordinaatio. Visuaalisen tarkastelun perusteella bakteeriyhteisö on hyvin samankaltaista riippumatta siitä, onko näyte kuivalta vai kostealta linjalta. Kolmen (B-kuva), yhdeksän (C-kuva) ja 20 (D-kuva) metrin etäisyydellä purosta bakteeriyhteisöissä on havaittavissa eroavaisuuksia kuivien ja kosteiden linjojen välillä: ordinaation perusteella eniten kolmen ja 20 metrin etäisyydellä purosta.



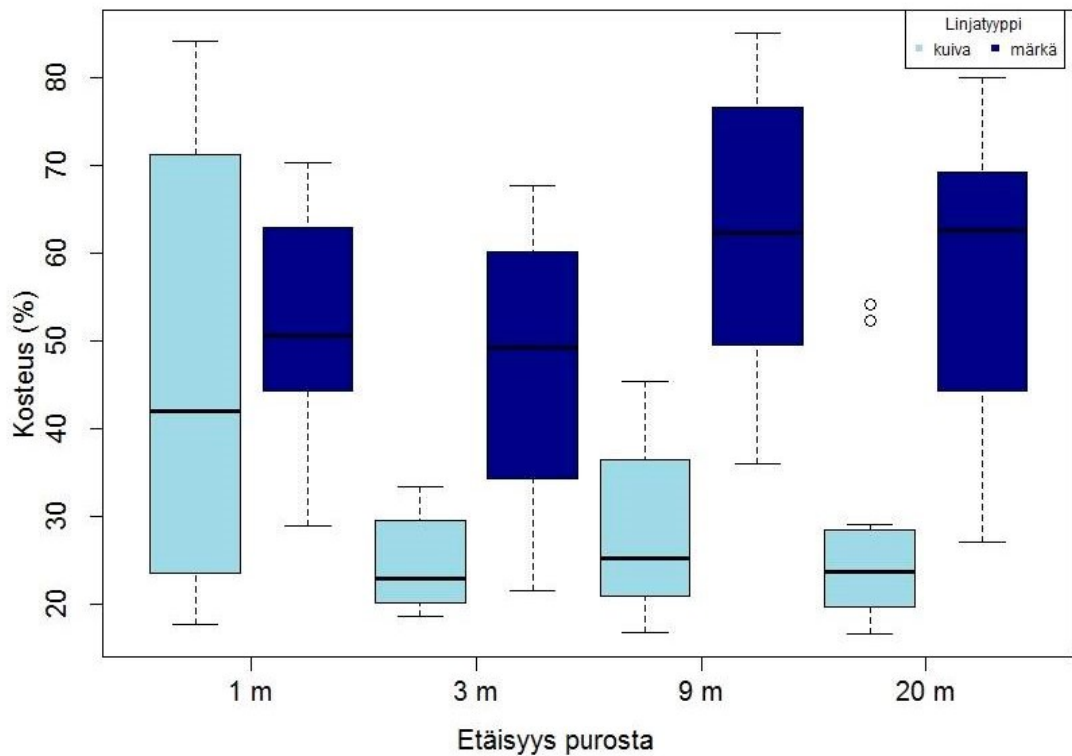
Kuva 33. Bakteeriaineiston NMDS-ordinaatio. Kuvassa siniset ellipsit edustavat kosteita linjoja ja ruskeat kuivia. Ellipsit kuvaavat bakteeriyhteisöjen keskinäisiä suhteita toisiinsa.

Taulukossa 4 on esitetty PERMANOVA-testin tulos. Tutkimuslinjan kosteuskategorialla (kuiva/kostea) ja tutkimusruudun etäisyydellä purosta (1m, 3m, 9m, 20m) ei ollut yhdysvaikutusta ($p=0,194$) bakteeriyhteisöjen lajikoostumukseen. Sen sijaan sekä tutkimuslinjan kosteuskategorialla ($p=0.0001$) että etäisyydellä purosta ($p=0.016$) oli päävaikutus bakteeriyhteisöihin. Linjan kategorisen kosteuden vaikutus bakteeriyhteisöihin näyttää siis olevan samansuuntainen kaikilla etäisyyksillä purosta. Selitysasteet ovat kuitenkin varsin pienet (linjan kosteuden $r^2=0.066$ ja ruudun etäisyyden purosta $r^2=0.028$) verrattuna jäännösselitysasteeseen ($r^2=0.89$), joka kertoo selittämättömästä vaihtelusta. Taulukon 4 tilastollisen laskennan perusteella näytelinjojen kosteus vaikuttaa merkittävimmin bakteeriyhteisöihin. P-arvon suuruus ei kuitenkaan kerro selittävän muuttujan hyvyydestä, ainoastaan sen, että muuttujalla on tilastollisessa mielessä merkittävä vaikutus bakteeriyhteisöihin.

Taulukko 4. NMDS-sovituksessa käytetylle datalle tehty adonis-analyysi.

	Df	SumsOfSqs	MeanSqs
Wetness	1	1.0760	1.07596
Ruutu	1	0.4470	0.44697
Wetness:Ruutu	1	0.2144	0.21439
Residuals	90	14.4548	0.16061
Total	93	16.1921	
	F.Model	R2	Pr(>F)
Wetness	6.6992	0.06645	0.0001
Ruutu	2.7830	0.02760	0.0160
Wetness:Ruutu	1.3348	0.01324	0.1944
Residuals		0.89271	
Total	1.00000		

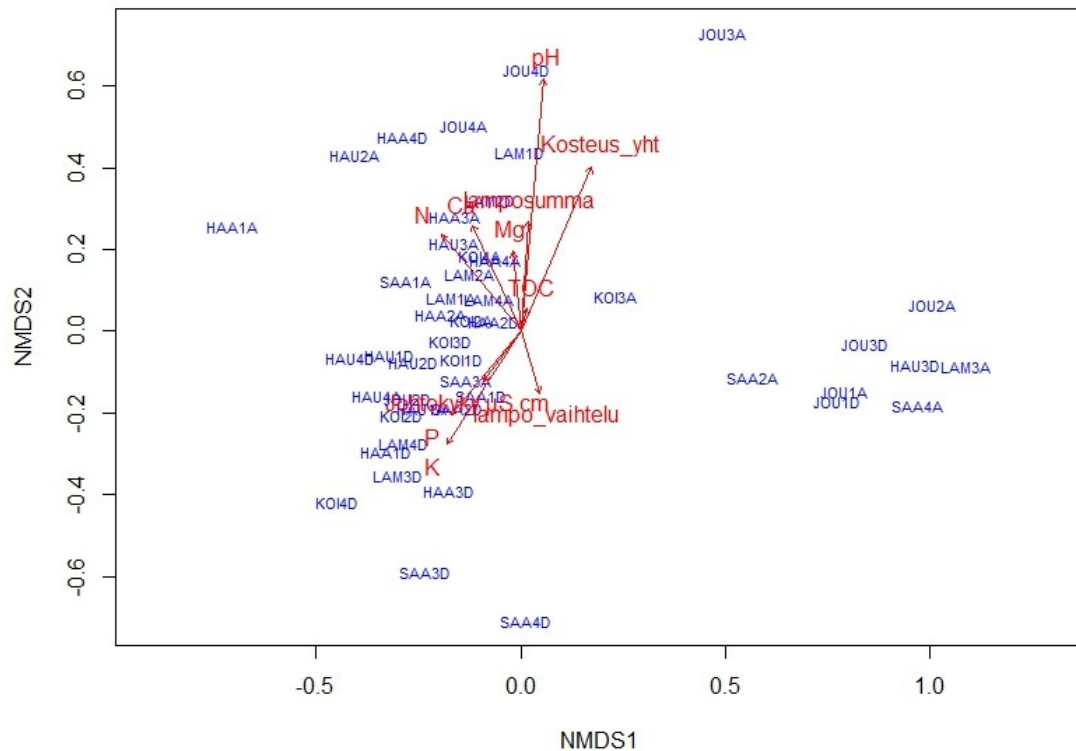
Kuvassa 34 on esitetty kuivien ja kosteiden linjojen eri näytepisteiden (etäisyyksien) todellisiin mittauksiin perustuvat kosteudet. Kuvan avulla on nähtävissä, kuinka näytepisteiden etäisyyksien kasvaessa kosteiden ja kuivien linjojen kosteuden erot korostuvat. Lähimmän näytepisteen (1 m) kuivien linjojen kosteudessa esiintyy runsaasti vaihtelua, mutta kosteus on tästä huolimatta hyvin verrattavissa kostean linjan kosteuspitoisuuteen. Kauemmaksi siirryttäessä kostean linjan kosteus pysyy melko muuttumattomana, kun taas kuivien linjojen kosteus laskee selvästi kosteisiin linjoihin verrattuna.



Kuva 34. Kosteiden ja kuivien näytelinjojen tutkimuspisteiden todellisiin mittauksiin perustuvat kosteuspitoisuudet (%).

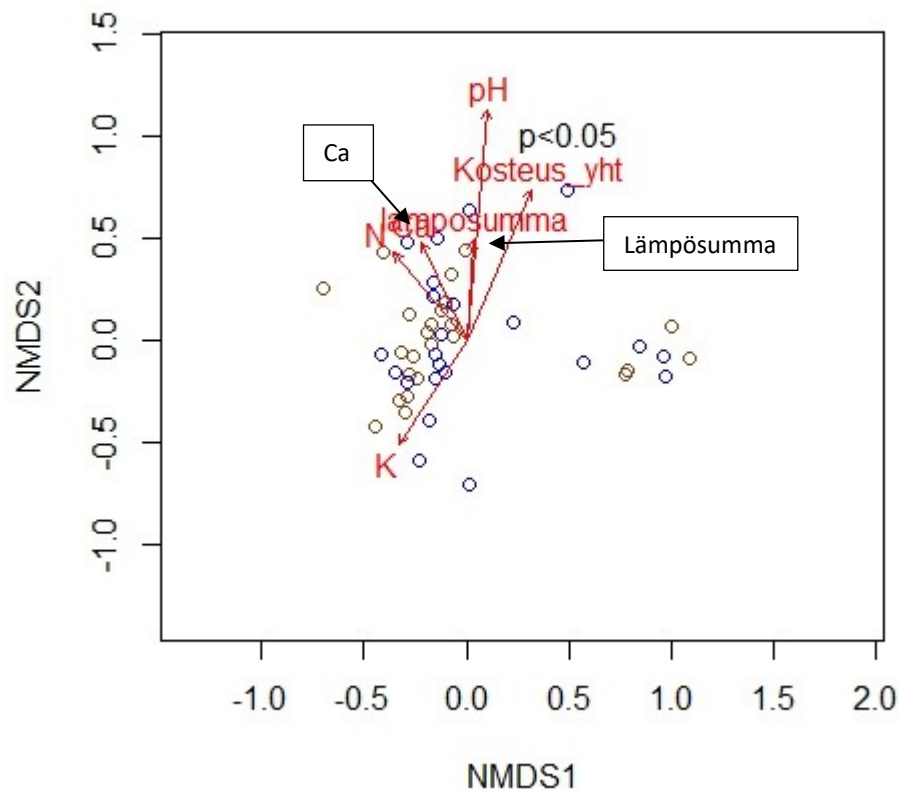
8.2.1 Envfit -analyysien tulokset

Kuvassa 35 on esitetty bakteeriaineiston ja ympäristömuuttujien avulla tehty envfit-analyysi. Tässä kuvassa on esitetty kaikki muuttujat, myös ne, jotka eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Kuvassa on nähtävissä näytepisteiden keskinäinen sijoittuminen akselilla bakteeriaineiston perusteella sekä kuinka kalsium-, magnesium-, kalium-, typpi- ja fosforipitoisuus, näytteiden kosteus, pH-arvo, TOC, lämpösumma, lämmönvaihtelu ja sähkönjohtokyky vaikuttavat näytteiden välillä.



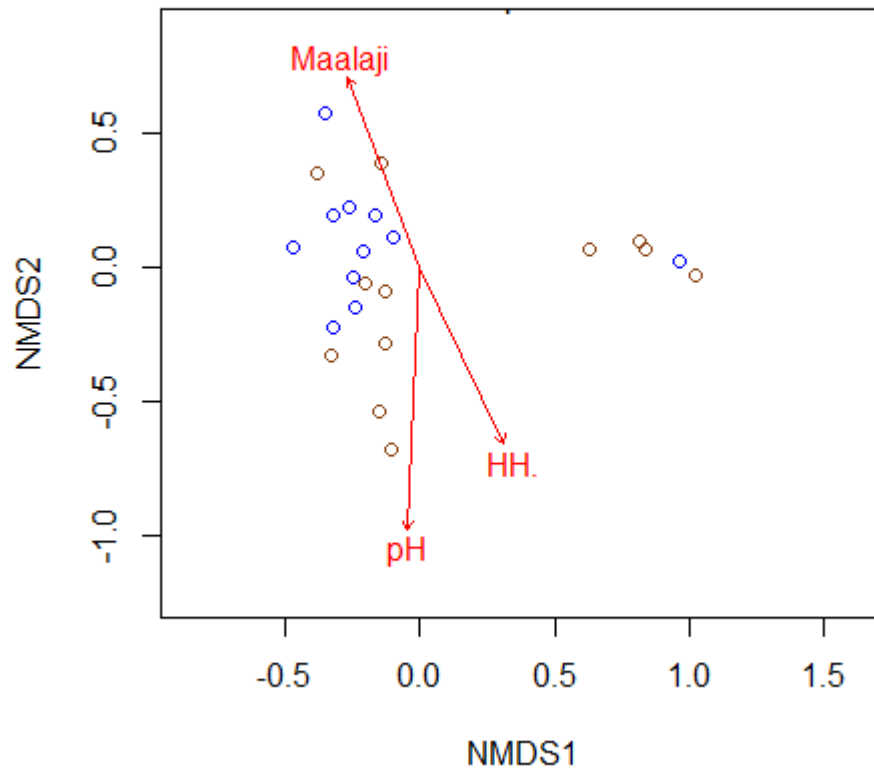
Kuva 35. Envfit-analyysi, jossa on esitetty näytenpisteiden nimet akselilla sekä valitut ympäristömuuttujat. Punaiset nuolet kuvaavat suuntaa, johon muuttuja kasvaa ja nuolen pituus osoittaa, kuinka vahvasti muuttuja korreloi yhteisörakenteiden kanssa.

Kuvassa 36 on esitetty envfit-analyysistä saadut tulokset, kun näytetunnisteet ovat poistettu kuvasta. Näytetunnisteiden tilalle on vaihdettu värikoodaus, jossa ympyröiden kehän sininen väri kuvastaa kosteaa linjaa ja ruskea kuivaa linjaa. Ordinaatiokuvaan on lisätty ne ympäristömuuttujat, jotka merkitsevästi ($p < 0,05$) vaikuttavat näytteiden sijaintiin ordinaatiossa. Merkitseviksi ympäristömuuttujiksi saatiin kalsium-, kalium- ja typpipitoisuus sekä pH-arvo, lämpösumma ja kosteus%.



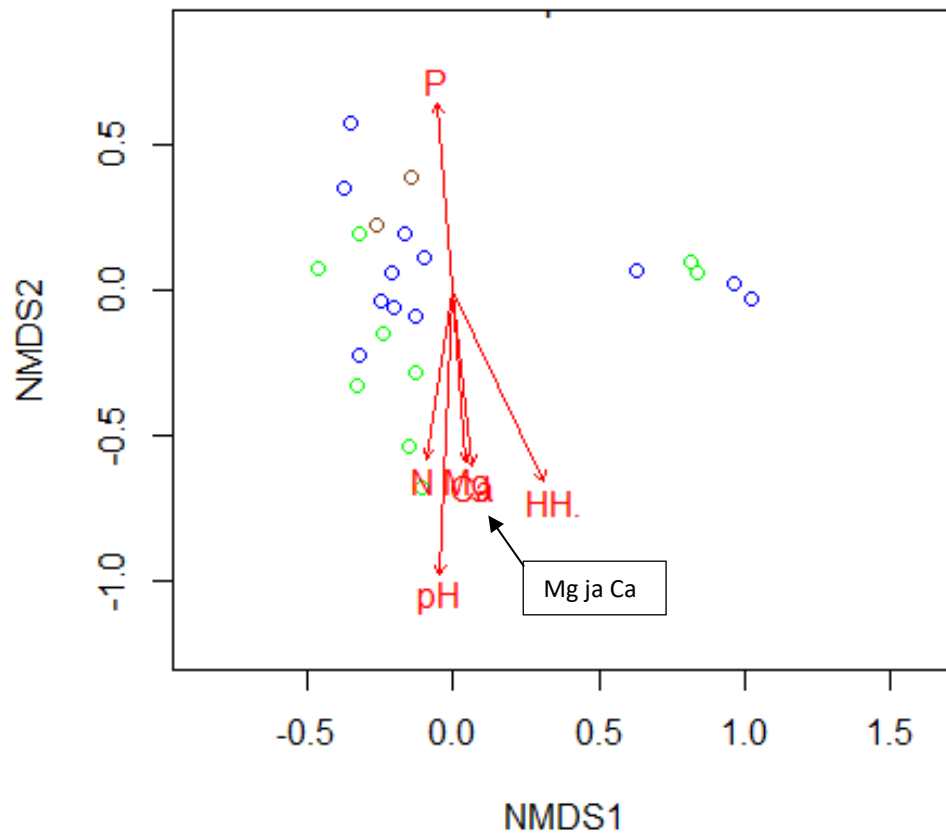
Kuva 36. Tilastollisesti merkitsevästi yhteisörakenteen kanssa korreloivat ympäristömuuttuja. Siniset ympyrät = kostean tutkimuslinjan näytteet, ruskeat ympyrät = kuivan tutkimuslinjan näytteet.

Kuvassa 37 on esitetty envfit-analyysi tutkimuksissa saatujen geologisten tekijöiden pohjalta. Ordinaatioakselilla sinikehäiset pisteet kuvastavat kosteita pisteistä ja ruskeakehäiset kuivia pisteitä. Geologisista tekijöistä merkitseviksi ympäristömuuttujiksi saatiin maalaji sekä hienoainespitoisuus. Maalajia kuvastava punainen nuoli on määritelty raekokoanalyysissä saatujen hiekkaisten näytteiden perusteella. Nuoli siis kuvastaa maalajiltaan hiekkaisten näytteiden sijaintia ordinaatiossa. Ordinaatiossa esitetty HH (hehkutushäviö) kuvastaa sitä suuntaa, jossa orgaanisen aineksen sijainti ordinaatiossa kasvaa.



Kuva 37. Tilastollisesti merkitsevästi yhteisörakenteen kanssa korreloivat geologiset muuttujat. Kuvaan on lisätty punaisilla nuolilla ympäristömuuttujat, jotka vaikuttavat merkitsevästi ($p < 0,05$) näytteiden sijaintiin ordinaatiossa. Geologisista ympäristömuuttujista kuvassa ovat hehkutushäviö (HH) ja maalaji (Hiekka) sekä muista ympäristömuuttujista pH-arvo.

Kuvassa 38 on esitetty näytteet, joille on tehty maalajimäärittäminen. Kuvan sinikehäiset pisteet osoittavat hiekanäytteiden sijainnin ordinaatioakselilla, vihreät puolestaan orgaanisten (humusvaltaisten) näytteiden ja ruskeat silttisten näytteiden sijainnin. Ympäristömuuttujiksi Bioenv-analyysin kautta määritettiin laboratorioanalyysistä saadut kalsium-, magnesium-, kalium-, typpi- ja fosforipitoisuus sekä pH-arvo ja geologisista muuttujista hehkutushäviö.



Kuva 38. Näytteistä tutkittujen maalajien ordinaatioakselilla. Maalajianalyysien perusteella hiekaksi määritetyt näytteet ovat kuvattu sinisellä, siltiksi ruskealla ja orgaaniset vihreällä. Ympäristömuuttuja-analyysin perusteella paras korrelaatio saatiin pH-arvon ja hienoainespitoisuuden avulla.

9 TULOSTEN TULKINTA

9.1 Purokohtaisten maaperän geologisten ominaisuuksien tulkinta

9.1.1 Tutkimuspurojen näytepisteiden analyysitulosten välinen korrelaatio

Tutkimuspurojen ja -linjojen välisiä yhtäläisyyksiä tulkittiin tutkimuspisteistä tehtyjen analyysien perusteella. Taulukossa 5 on esitetty kuuden tutkimuspuron lähimpänä (1 m) ja kauimpana (20 m) tutkimuspurosta sijaitsevien näytteiden analyysitulokset kalsium-, magnesium-, kalium-, fosfori- ja typpipitoisuuden sekä johtokyvyn ja pH-arvon osalta. Tutkimuspurojen näytepisteet on merkitty vihreällä tai sinisellä sen perusteella, ovatko näytteet olleet kostealta (sininen) vai kuivalta (vihreä) tutkimuslinjalta.

Näytteiden analyysitulosten perusteella tutkimuslinjojen 1 m etäisyydellä purosta sijaitsevien näytteiden pH-arvot ovat hieman korkeammat kuin 20 m etäisyydeltä otettujen näytteiden. Poikkeuksena kuitenkin Haapuanon 4. näyte, jossa kauimman näytteen pH-arvo on korkeampi. Lammasojan ja Saariojan näytteissä on havaittavissa samankaltaista käyttäytymistä, mutta erot ovat epäselvempiä ja Lammasojan kahdessa ensimmäisessä tutkimuslinjassa pH-arvot käyttäytyvät täysin päinvastoin. Lammasojan ja Saariojan kohdalla on huomioitava, että purot ovat tutkittavista puroista ainoita, joiden ensimmäiset tutkimuslinjat sijaitsevat kostealla alueella. Koivunon 1. tutkimuslinjan 1 m näytteestä analysoitiin korkein kalsiumpitoisuus, joka näkyy myös pH-arvossa. Tutkimuspisteen pH-arvo oli 5,6, ollen selvästi korkeampi kuin muissa analysoiduissa näytteissä.

Kosteiden näytepisteiden analyysituloksissa on nähtävissä, että analysoidut pitoisuudet ovat pääasiassa tasaisempia kuin kuivien näytepisteiden kohdalla. Erityisesti fosforipitoisuudet ovat kosteissa näytteissä pienempiä kuin kuivissa näytteissä. Typpipitoisuuksissa erot eivät ole yhtä selkeitä, mutta samankaltaista trendiä on havaittavissa. Purojen maantieteellisellä sijainnilla (järven lasku-uoma, notko, suo) ei vaikuta olevan merkitsevää vaikutusta analyysitulosten kanssa. Osassa näytteistä suurempi sähkönjohtokyky korreloi hyvin kalsium-, magnesium- ja kaliumpitoisuuksien kanssa. Tästä esimerkkinä HAA1A ja HAA4D näytteet. Samankaltaista suuntausta on nähtävissä myös HAU2A, HAU4A, JOU2D sekä SAA4A näytteiden tuloksissa. Kalsium-, magnesium- ja kaliumpitoisuudet eivät kuitenkaan täysin korreloi sähkönjohtavuuden kanssa, josta esimerkkinä näytteistä analysoituihin pitoisuuksiin suhteutettuna kohtuullisen suuret tulokset omaavat näytteet HAA3A, HAU2A, HAU4A, KOI1A. Sähkönjohtokyvyn osalta poikkeuksellisen pienet pitoisuussummat saatiin näytteistä HAA4A, HAU1A, JOU1A, JOU1D, KOI2D, KOI4D, LAM1A.

Tulosten vaihtelevuuden vuoksi selviä johtopäätöksiä ei voida vetää, mutta on oletettavaa, että näytteiden sähkönjohtokykyyn vaikuttaa myös muut, näytteiden analyysien ulkopuolelle jääneet, alkuainepitoisuudet. Tulosten vaihtelevuus ja epäjohdonmukaisuus johtuu suurella todennäköisyydellä tutkimuspurojen sijainnista suoalueiden lähistöllä tai suoalueilla. Selvimmin alkuainepitoisuussummat korreloivat Haapuanon ja Saariojan näytteissä, jotka sijaitsevat kauimpana suoalueista. Suoalueilta

tutkimuspuroihin pääsee oletettavasti liukenemaan suoloja, jotka vaikuttavat tuloksiin. Tutkimuspurojen alueen kallioperällä saattaa myös olla vaikutusta etenkin kalsium- ja magnesiumpitoisuuksien osalta. Tutkimuspurojen alueen keskeltä halkaisevan klastisen kvartsirikkaan sedimenttikivilajin vyöhyke (BGS) voi heijastella vyöhykkeen vieressä sijaitseviin tutkimuspuroihin, kuten Lammasojaan, Saariojaan ja Haukiojaan. Edellä mainittujen tutkimuspurojen tutkimuslinjojen analyysituloksissa kalsium- ja magnesiumpitoisuudet ovat aavistuksen keskiarvopitoisuuksia pienemmät, vaikkakin erot ovat häilyviä. Alueelta tarvittaisiin enemmän näytteitä ja analyysituloksia, jotta tulosten toistuvuus voitaisiin varmentaa. Tutkittavan alueen kallioperällä ja maaperällä on todennäköisesti vaikutusta tuloksiin, mutta näiden tekijöiden vaikutus riippuu pitkälti alueen topografiasta ja ojituksista, jotka vaikuttavat edelleen pohja- ja pintavesien kulkeutumisreitteihin, joiden myötä alkuaineita liukenee ja kulkeutuu maa- ja kallioperästä.

Taulukko 5. Tutkimuspurojen tutkimuslinjojen näytteiden A ja D analyysitulokset esitettynä taulukkomuodossa. Vihreällä pohjalla on esitetty kuivat näytepisteet ja sinisellä kosteat näytepisteet.

		Ca mg/g	Mg mg/g	K mg/g	P mg/g	N mg/g	Johtokyky μS/cm	pH
HAA1A	dry	11,878	1,529	1,971	0,076	0,069	79,60	4,4
HAA1D	dry	2,258	0,535	1,398	0,020	0,014	48,60	3,7
HAA2A	wet	2,752	0,451	0,699	0,003	0,010	50,00	4,2
HAA2D	wet	2,352	0,458	0,643	0,005	0,011	51,40	4,0
HAA3A	dry	7,423	1,014	0,937	0,014	0,020	48,90	4,5
HAA3D	dry	1,826	0,289	0,904	0,016	0,006	38,60	3,8
HAA4A	wet	3,069	0,493	0,984	0,005	0,018	64,10	4,3
HAA4D	wet	7,787	1,151	1,188	0,004	0,029	87,90	4,8
HAU1A	dry	1,505	0,548	0,787	0,004	0,005	77,80	3,8
HAU1D	dry	0,952	0,728	0,638	0,002	0,003	28,08	3,9
HAU2A	wet	5,675	0,650	0,763	0,009	0,029	53,60	4,6
HAU2D	wet	0,249	0,146	0,377	0,002	0,003	22,11	4,0
HAU3A	wet	0,293	0,457	0,481	0,003	0,005	38,60	4,2
HAU3D	wet	0,954	0,527	0,723	0,005	0,003	32,70	3,9
HAU4A	dry	7,786	1,264	0,964	0,008	0,011	54,80	4,0
HAU4D	dry	1,136	0,321	0,572	0,003	0,003	36,70	3,8
JOU1A	dry	3,101	1,528	0,932	0,007	0,008	66,50	4,2
JOU1D	dry	1,063	0,780	1,118	0,019	0,004	80,00	3,6
JOU2A	dry	0,194	0,114	0,262	0,002	0,006	16,27	4,6
JOU2D	dry	3,541	1,618	1,912	0,017	0,014	66,20	3,9
JOU3A	wet	3,522	0,951	0,319	0,003	0,004	23,60	4,5
JOU3D	wet	2,116	0,508	0,355	0,004	0,003	45,00	4,0
JOU4A	wet	3,583	1,065	0,554	0,002	0,005	43,50	4,8
JOU4D	wet	4,105	0,894	0,770	0,004	0,004	52,60	4,5
KOI1A	dry	13,807	3,132	0,626	0,001	0,028	37,30	5,6
KOI1D	dry	2,678	1,435	1,195	0,008	0,012	48,10	3,8
KOI2A	wet	1,581	0,783	0,545	0,004	0,015	25,25	4,3
KOI2D	wet	3,335	0,758	1,307	0,007	0,016	64,30	3,7
KOI3A	wet	1,050	0,546	0,772	0,005	0,008	36,70	4,3
KOI3D	wet	0,697	0,566	0,713	0,013	0,011	46,50	3,8
KOI4A	dry	0,369	0,424	0,597	0,004	0,014	36,00	4,2
KOI4D	dry	0,274	0,185	0,722	0,003	0,004	57,30	3,7
LAM1A	wet	0,829	0,363	0,660	0,002	0,004	50,80	4,0
LAM1D	wet	1,114	0,522	0,355	0,002	0,012	17,74	4,6
LAM2A	wet	0,570	0,286	0,495	0,002	0,009	36,10	4,2
LAM2D	wet	1,001	0,390	0,315	0,002	0,009	18,77	4,5
LAM3A	dry	0,309	0,330	0,461	0,003	0,007	33,60	4,1
LAM3D	dry	2,441	0,465	1,762	0,034	0,008	66,70	3,6
LAM4A	dry	0,317	0,317	0,540	0,002	0,008	33,50	4,1
LAM4D	dry	0,915	0,338	1,039	0,022	0,007	45,90	3,7
SAA1A	wet	3,046	0,881	0,806	0,011	0,012	55,80	4,0
SAA1D	wet	1,356	0,325	0,704	0,010	0,007	34,80	3,8
SAA2A	wet	2,271	0,675	1,013	0,008	0,010	58,60	4,0
SAA2D	wet	1,378	0,404	0,699	0,011	0,008	39,00	3,9
SAA3A	dry	2,407	1,129	1,053	0,009	0,008	58,30	3,7
SAA3D	dry	0,861	0,173	0,816	0,017	0,004	37,00	3,7
SAA4A	dry	5,723	1,014	0,941	0,007	0,015	63,30	4,2
SAA4D	dry	1,275	0,308	1,140	0,026	0,007	48,30	3,7

Tutkimuspurojen ja tutkimuslinjojen A (1 m) ja D (20 m) näytepisteiden alueellisista eroista huolimatta on yllättävää, että analyysitulosten osalta selkeitä eroja tai korrelaatioita näytteiden välillä ei ole nähtävissä sen perusteella sijaitsevatko näytepisteet kostealla vai kuivalla alueella. Sen sijaan A ja D näytepisteiden välillä on nähtävissä eroja pitoisuuksien, kuin myös muiden parametrien osalta. Jotka puolestaan todennäköisesti selittyvät tutkimuslinjan alueellisilla vaihteluilla.

9.1.2 Tutkituista näytteistä määritettyjen maalajien välinen korrelaatio

Taulukossa 6 on esitetty niiden näytepisteiden analyysitulokset, joista määritettiin myös hehkutushäviö ja näytteen maalaji. Taulukon 6 avulla vertaillaan määritettyjen maalajien välisiä eroja ja korrelaatioita keskenään. Taulukoon on lisätty myös TOC, lämpösumma ja -vaihtelu sekä kosteus. Taulukon tuloksista on nähtävissä, että kokonaishiili korreloi varsin hyvin hehkutushäviötulosten kanssa, etenkin suurien HH % tulosten osalta näytteissä JOU1A, JOU1D ja JOU4D. Näytteiden kosteuspitoisuus kasvaa luonnollisesti orgaanisissa näytteissä, mutta myös hiekkänäytteissä tavataan suuria kosteuspitoisuuksia (mm. HAU3A, KOI1A, KOI2D).

Näytteiden maalajimääryksissä ainoastaan kaksi näytettä osoittautui siltiksi (HAA3D ja HAU4D), joten otanta on pieni, mutta näytteiden välillä on havaittavissa selviä yhtäläisyyksiä. Taulukon 6 tuloksia tarkasteltaessa on nähtävissä, että näytteiden hehkutushäviöprosentti (orgaanisen materiaalin määrä) on merkitsevässä roolissa tulosten kannalta. Lähes poikkeuksetta mitä suurempi HH % on, sitä suurempi myös näytteiden kosteuspitoisuus on. Myös typpipitoisuus korreloi hyvin hehkutushäviötulosten kanssa. Maaperän typpipitoisuus on yleisesti ottaen niukka, jonka vuoksi se on useimmille kasveille eniten kasvua rajoittava tekijä. Suurempi typpipitoisuus voi näin ollen olla ratkaisevassa roolissa myös mikrobien esiintyvyyden kannalta.

Erityisesti hiekkaisen maalajien kohdalla orgaanisen aineksen määrä on mikrobien kannalta tärkeä. Orgaaninen aines sitoo hyvin kosteutta itseensä. Hiekkaisessa maaperässä kosteuspitoisuus on tyypillisesti melko matala, joten orgaanisen aineksen osuuden kasvaessa hiekkaisen maan kosteuspitoisuus pysyy luonnostaan tavanomaista

korkeampana myös kuivina aikoina ja kuivilla alueilla, joka saattaa olla mikrobien kannalta olennaista.

Taulukko 6. Tutkittujen näytteiden maalarimääritykset yhdistettynä näytteiden analyysituloksiin. Taulukossa siltinäytteet ovat harmaalla pohjalla, orgaaniset näytteet vihertävällä ja hiekkänäytteet kellertävällä pohjalla.

		Ca mg/g	Mg mg/g	K mg/g	P mg/g	N mg/g	Johtokyky μS/cm	pH	TOC	lampö- summa	lampö- vaihtelu	Kosteus	HH%	Maalaji
HAA2A	wet	2,752	0,451	0,699	0,003	0,010	50,00	4,2	6,6	1181,60	2,06	43,79	10,08	Sand
HAA2D	wet	2,352	0,458	0,643	0,005	0,011	51,40	4,0	6,2	1015,94	1,83	32,61	11,43	Sand
HAA3A	dry	7,423	1,014	0,937	0,014	0,020	48,90	4,5	22,0	1069,89	1,95	84,16	35,71	Org
HAA3D	dry	1,826	0,289	0,904	0,016	0,006	38,60	3,8	14,0	1021,01	2,55	23,31	1,42	Silt
HAU3A	wet	0,293	0,457	0,481	0,003	0,005	38,60	4,2	4,7	1058,85	1,41	65,21	11,88	Sand
HAU3D	wet	0,954	0,527	0,723	0,005	0,003	32,70	3,9	5,9	917,69	1,81	21,41	13,02	NA
HAU4A	dry	7,786	1,264	0,964	0,008	0,011	54,80	4,0	17,0	1077,19	2,08	22,47	10,59	Sand
HAU4D	dry	1,136	0,321	0,572	0,003	0,003	36,70	3,8	5,9	976,48	2,35	29,55	6,37	Silt
JOU1A	dry	3,101	1,528	0,932	0,007	0,008	66,50	4,2	40,0	871,67	2,82	73,91	68,27	Org
JOU1D	dry	1,063	0,780	1,118	0,019	0,004	80,00	3,6	55,0	1020,04	2,76	19,33	95,39	Org
JOU4A	wet	3,583	1,065	0,554	0,002	0,005	43,50	4,8	13,0	1103,37	3,09	60,60	21,24	Org
JOU4D	wet	4,105	0,894	0,770	0,004	0,004	52,60	4,5	50,0	1081,75	1,84	48,80	92,55	Org
KOI1A	dry	13,807	3,132	0,626	0,001	0,028	37,30	5,6	21,0	980,36	2,66	42,88	54,00	Org
KOI1D	dry	2,678	1,435	1,195	0,008	0,012	48,10	3,8	29,0	892,23	2,50	21,43	29,80	Org
KOI2A	wet	1,581	0,783	0,545	0,004	0,015	25,25	4,3	15,0	1017,03	2,52	70,30	18,64	Sand
KOI2D	wet	3,335	0,758	1,307	0,007	0,016	64,30	3,7	22,0	903,07	2,86	57,82	16,02	Sand
LAM2A	wet	0,570	0,286	0,495	0,002	0,009	36,10	4,2	11,0	1165,45	2,33	44,67	23,48	Org
LAM2D	wet	1,001	0,390	0,315	0,002	0,009	18,77	4,5	30,0	996,78	2,26	62,48	56,13	Org
LAM3A	dry	0,309	0,330	0,461	0,003	0,007	33,60	4,1	15,0	1078,72	2,30	69,27	35,56	Org
LAM3D	dry	2,441	0,465	1,762	0,034	0,008	66,70	3,6	17,0	953,22	2,48	18,89	3,20	Sand
SAA2A	wet	2,271	0,675	1,013	0,008	0,010	58,60	4,0	11,0	1052,87	1,88	49,43	4,79	Sand
SAA2D	wet	1,378	0,404	0,699	0,011	0,008	39,00	3,9	20,0	993,51	2,33	35,87	4,29	Sand
SAA3A	dry	2,407	1,129	1,053	0,009	0,008	58,30	3,7	16,0	1055,83	2,54	24,47	5,67	Sand
SAA3D	dry	0,861	0,173	0,816	0,017	0,004	37,00	3,7	20,0	1017,50	2,43	20,97	3,09	Sand

9.2 Ympäristömuuttujien vaikutus maaperäbakteerien yhteisörakenteeseen

DNA-eristyksestä saadulle bakteeriaineistolle tehdyn NMDS-ordinaatiosovituksen perusteella tutkimuspurojen näytepisteiden etäisyyksillä on merkitystä mikrobien määrän ja esiintyvyyteen. NMDS-ordinaatiosovituksessa kosteat ja kuivat näytepisteet jaoteltiin 1 m, 3 m, 9 m ja 20 m ryhmiin. Lähimpänä tutkimuspuron rantametsää sijaitsevilla linjojen (1 m) merkitseviä eroja ei havaittu kuivien ja kosteiden näytteiden välillä. Tämä johtuu siitä, että lähellä rantametsää sijaitsevat tutkimusruudut pysyvät myös verrattain kosteina läheisen puron vaikutuksesta. Puron vaikutus on todettavissa todellisten kosteusmittausten avulla. Kuivien linjojen 1 m tutkimusruudun kosteuspitoisuus vastaa melko hyvin kostean linjan 1 m tutkimusruudun kosteuspitoisuutta. Kosteiden ja kuivien linjojen kosteuspitoisuuksien erot korostuvat kauemmissa näytteissä. Kostean linjan 1 m, 3 m, 9 m ja 20 m tutkimusruutujen kosteuspitoisuus säilyy verrattain saman suuruisena,

kun taas kuivien linjojen osalta kosteuspitoisuus laskee merkitsevästi jo 3 m tutkimusruudun etäisyydellä.

Tutkimuslinjojen 3 m etäisyydeltä otettujen näytteiden kohdalla on jo nähtävissä eroja kuivien ja kosteiden linjojen välillä. Tästäkin huolimatta yksittäisten näytepisteiden hajonta oli verrattain suurta. Samankaltaisia tuloksia saatiin myös 9 m etäisyydeltä otetuista näytteistä. Ordinaatiosovitukseen 95 % luottamusrajalla määritettyjen kuivien ja kosteiden näytepisteiden ellipsit ovat kuitenkin selvästi erillään 1 m näytteisiin verrattuna, mutta erot ovat melko pieniä. Kun siirrytään kauimpana sijaitsevien näytteiden (20 m) NMDS-ordinaatiosovitukseen voidaan huomata, että kosteiden ja kuivien linjojen välillä on jo melko selviä eroja. Yksittäisten näytteiden sijainti ordinaatiosovituksessa on varsin hyvin rajautunut sen perusteella, ovatko linjat kuivia vai kosteita. Kuivien linjojen ovat ryhmittyneet vasemmalle puolelle ja kosteiden oikealle puolelle.

NMDS-sovituksessa käytetylle datalle suoritettun Permanova-testin adonis funktiosta saatu analyysitulos tukee kuivien ja kosteiden linjojen eroavaisuuksia. Analyysin perusteella tutkimuslinjojen näytteiden kosteus vaikuttaa merkittävästi bakteeridatan lajikoostumuseroihin. Myös näytteiden etäisyydellä purosta on merkitystä bakteeriyhteisöjen lajikoostumukseen.

Ympäristömuuttujien Bioenv- ja Envfit-analyysien pohjalta saadut tulokset ovat kosteiden ja kuivien linjojen sekä geologisten muuttujien osalta varsin paikkasidonnaisia, eivätkä täysin linjojen kuivuudesta tai kosteudesta riippuvaisia. Analyysien perusteella vaikuttaa siltä, että mikrobien määrään vaikuttavista tekijöistä tärkeimpänä on näytteen orgaanisen materiaalin osuus. Mitä suurempi orgaanisen materiaalin osuus näytteessä on, sitä enemmän siinä tyypillisesti on ravinteita ja kosteutta mikrobien hyödynnettäväksi. Orgaanisen materiaalin osalta on luonnollista, että hehikutushäviöprosentti on valikoitunut merkitseväksi tekijäksi, kuten myös näytteen pH-arvo, joka useimmiten on hieman happaman puolella. Tulosten perusteella etenkin orgaanisen aineksen, eli maalajin, sekä kosteuspitoisuuden välillä on yhteys. Bakteerilajiston kannalta muiden ympäristömuuttujien vaikutusta on hankala todentaa, sillä tuloksissa esiintyy vaihtelua. Jotta ymmärrettäisiin tarkemmin bakteerilajistoon ja sen runsauteen vaikuttavia

mekanismeja, tulisi tutkittavien näytteiden bakteerilajistoa tarkastella yksilökohtaisemmin, jolloin voitaisiin selvittää eri bakteerilajien elinolosuhteet ja niiden reunaehdot. Vakiintuneissa ja suhteellisen muuttumattomissa olosuhteissa tutkittavan alueen bakteerilajisto on todennäköisesti sopeutunut alueen olosuhteisiin, kun taas muuttuvassa ympäristössä bakteerilajistossa ja runsaudessa saattaa tapahtua muutoksia ja tasapainotilaa eri bakteerilajistojen määrasuhteiden osalta ei ole vielä saavutettu.

Kvantitatiivisten tilastollisten ja visuaalisten tulosten perusteella voidaan todeta, että mitä kauemmaksi tutkimuspuroista siirrytään, sitä suurempi merkitys maaperän kosteudella tai kuivuudella on bakteeriyhteisöjen kannalta.

10 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena oli tuottaa uutta tietoa rantametsien mikrobiyhteisöistä ja niihin vaikuttavista tekijöistä. Tutkielmassa saatujen tulosten perusteella voitiin varmistua siitä, että bakteeriyhteisöjen määrä ja runsaus purojen rantametsien läheisyydessä korreloi vahvasti maaperän kosteuden kanssa.

Tutkimuksessa käytettyjen ympäristötekijöiden, erityisesti maaperätekijöiden, vaikutus mikrobeihin on tulosten valossa varsin selkeä. Orgaanisen aineksen määrä vaikuttaa merkitsevästi bakteerien yhteisökoostumukseen. Orgaaninen maaperä sisältää runsaasti bakteerien käytettävissä olevia ravinteita ja orgaaninen materiaali sitoo tehokkaasti kosteutta, jotka ovat perusedellytyksiä bakteerien lisääntymisen ja selviämisen kannalta. Vaikka happamissa olosuhteissa bakteerien määrä yleensä vähentyy ja sienten osuus kasvaa, tulosten perusteella happamalla pH-arvolla vaikuttaa olevan vaikutusta myös bakteerilajistoon. Orgaanisen aineksen määrä, kuten myös kosteus, kasvavat suoalueilla ja kosteikoilla, joissa pH-arvo on tyypillisesti happaman puolella. Orgaanisen aineksen ravinteet ja kosteus voivat kumota happamuuden vaikutuksen. Edellä mainituilla alueilla bakteerilajisto on myös voinut sopeutua vallitseviin olosuhteisiin. Analyysien perusteella näyttäisi, että maaperän korkea humuspitoisuus, kosteus ja/tai happamuus valikoi eri bakteerilajeja kuin matala humuspitoisuus, kuivempi maaperä ja/tai neutraali pH. Toisin sanoen näyttää siltä, että kuivan maaperän lajisto ei ole vain osajoukko kostean maaperän lajistoa, vaan niissä todellakin on eri yhteisöt.

Tutkimuksen kohteena olleet tutkimuspurot sijaitsivat Pudasjärven alueella, mutta erosivat kuitenkin alueellisesti merkitsevästi toisistaan. Osa tutkimuspuroista sijoittui vahvasti suoalueelle tai sen läheisyyteen, kun taas toiset tutkimuspurot olivat lähellä Iijoen purkupistettä. Kauempana purosta olevien alueiden kosteuteen vaikuttaa geologisten tekijöiden osalta se, kuinka suuri orgaanisen materiaalin osuus on, sillä orgaaninen materiaali sitoo tehokkaasti kosteutta ylläpitäen korkeaa vesipitoisuutta. Orgaaninen materiaali, pääasiassa humusmaa, on vallitseva maalaji suoalueilla. Purojen rantametsien suojavyöhykkeen etäisyyttä arvioitaessa tulisi saatujen tulosten perusteella huomioida puron rantametsää ympäröivän maaperän laatu. Kosteilla ja kuivilla rantametsän alueilla on erilaiset yhteisöt ja metsähakkuiden kuivattavan vaikutuksen vuoksi yhteisöt todennäköisesti homogenisoituvat. Sen takia alueellisen monimuotoisuuden ylläpitämiseksi erityisesti kosteat alueet tarvitsevat suojelua. Lisäksi ekosysteemitoinnot, esim. hajotustoiminta, voivat muuttua mikrobiyhteisöjen muuttuessa. Kuivassa maaperässä esim. mikrobien hajotustoiminta on yleensä hitaampaa kuin kosteassa maassa. Kosteassa maaperässä ravinteita vapautuu kiertoon ja hiilidioksidia ilmakehään nopeammin, millä on merkitystä mm. vesien suojelun ja ilmaston lämpenemisen kannalta. Tutkimusten kannalta on huomionarvoista, että vaikka puroille on määritetty suojavyöhyke, se ei välttämättä estä suojavyöhykkeen vieressä tapahtuvien töiden vaikutuksien ulottumista puroon ja sen mikrobilajistoon. Purojen alueellisen ympäristön ja parametrien vaihtuessa, ne ovat vaihtelevalla tavalla alttiita ja herkkiä muutoksille.

Lähelle puroa yltävät metsähakkuut todennäköisesti kuivattavat rantametsää, millä voi olla erilainen vaikutus kostean ja humuspitoisen maaperän mikrobeihin ja niiden ylläpitämiin prosesseihin kuin kuivemmilla rantametsän alueilla. Koska tässä tutkimuksessa havaittiin korrelaatiota bakteeriyhteisöjen ja maaperän ominaisuuksien välillä, tulisi jatkotutkimuksissa selvittää, miten erilaisilla alustoilla (esim. kostea/kuiva, humuspitoisuus, pH) elävät mikrobiyhteisöt reagoivat metsähakkuihin.

11 KIITOKSET

Lämmin kiitos Suomen ympäristökeskukselle ja etenkin tutkija Mari Tolkkiselle, joka on toiminut tämän työn pääohjaajana. Neuvot ja kommentit ovat olleet ensiarvoisen tärkeitä. Kiitos myös erikoistutkija Heikki Mykrälle, Saija Muotiolle, sekä muulle työryhmälle, joka on keskeisesti ollut mukana tutkielman toteutumisessa. Kiitos Oulun yliopiston Ekologian ja genetiikan yksikön Saija Ahoselle, joka suoritti PCR-työn, Kaisa Lehosmaalle, joka suoritti bakteeriaineiston bioinformatiikan ja Tarja Törmäselle, joka suoritti ravinnemääritykset. Lisäksi kiitos Anna-Mari Markkoselle, joka on toiminut yhteistyökumppanina. Kiitos Mari Tolkkisen post doc-työtä rahoittaneille Maj ja Tor Nesslingin Säätiölle, Suomen Metsätieteelliselle Seuralle, Suomen Luonnon Suojelun Säätiölle ja Ilmari Räsäsen Säätiölle, joiden ansiosta myös tämän tutkimuksen toteutuminen on ollut mahdollista. Oulun yliopiston puolelta haluan kiittää professori Pertti Saralaa ja hänen rautaista tietotaitoaan työn ohjaamisen parissa. Kiitokset myös Oulu Mining Schoolin henkilökunnalle, etenkin Tiina Eskolalle ja Riitta Kontiolle, jotka mahdollistivat laboratorioanalyysien toteuttamisen. Iso kiitos myös Maa- ja vesitekniikan tuki ry:lle, joka avusti työtä ja sen toteutumista taloudellisella panostuksella. Suuri kiitos kuuluu myös aviomiehelleni Petteri Rantalalle näkemyksestä, vinkeistä ja väsymättömästä tuesta työn valmistumisen eteen. Lopuksi haluan esittää kiitokset kaikille opiskelijatovereille vuosien varrelta, jotka ovat tehneet matkasta ikimuistoisen.

LÄHTEET

- Ahola M., Havumäki M., 2008. Purokunnostus. Käsikirja metsäpurojen kunnostajille. YMPÄRISTÖOPAS. Kainuun ympäristökeskus, Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, s. 9-24.
- Airix Ympäristö Oy, 2011. Pudasjärvi, Iijokivarren rantayleiskaava. Maisemaselvitys, 11.
- Amundson, R., Richter, D.D., Humphreys, G.S., Jobbagy, E.G., Gaillardet, J., 2007. Coupling between biota and earth materials in the critical zone. *Elements* 3, 327-332.
- Anderson, H.W., Hoover, M.D., Reinhart, K.G., 1976. Forest and water: Effects of forest management on floods, sedimentation, and water supply. General technical report PSW-18/1976. Berkeley, California: United States department of agriculture, forest service, Pacific Southwest forest and range experiment station.
- Baeuerlein, E., 2000. Biomineralization Weinheim, Germany: Wiley-VCH.
- Bazylinski, D. A., 2001. Bacterial mineralization. In *Encyclopedia of materials: Science and technology*. Amsterdam: Elsevier, 441-448.
- Bohannon B., Carney K., Horner-Devine M., 2003. An ecological perspective on bacterial biodiversity. Department of Biological Sciences, and Department of Geological and Environmental Sciences, Stanford University.
- Borneman, J. & Triplett, E.W., 1997. Molecular microbial diversity in soils from eastern Amazonia: evidence for unusual microorganisms and microbial population shifts associated with deforestation. *Applied Environmental Microbiology*. 66, 5448-5456.

Borowik, A. & Wyszowska, J., 2016. Soil moisture as a factor affecting the microbiological and biochemical activity of soil. Department of microbiology, university of Warnia and Mazury in Olsztyn, Poland. No. 6, 250-255.

Broadmeadow, S. & Nisbet, T.R., 2004. The effect of riparian forest management on the freshwater environment: a literature review of best management practice. Hydrology and earth sciences, 8(3), 286-305.

Brockett, B.F.T., Prescott, C.E., Grayston, S.J., 2011. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada. Soil Biology & Biochemistry 44, 9-20.

Brosfokske, K.D., Chen, J., Naiman, R.J., Franklin, J.F., 1997. Effects of harvesting microclimate from small streams to uplands in western Washington. Ecological applications 7, 1188-1200.

Callahan B., McMurdie P. & Holmes S., 2017. Exact sequence variants should replace operational taxonomic units in marker-gene data analysis. The ISME Journal 11, 2639-2643.

Chorover, J., Kretschmar, R., Garcia-Pichel, F. & Sparks, D.L., 2007. Soil biogeochemical processes within the critical zone. Elements 3, 321-326.
Comparison of Liverworts, Mosses, and Vascular Plants (*Ecosystems* (2016) 19: 170–184, DOI: 10.1007/s10021-015-9927-0)

Ehrlich, H., 1996. How microbes influence mineral growth and dissolution. Chemical Geology 132, 5-9.

Ehrlich, H.L. & Newman, D.K., 2009. Geomicrobiology, 5th edn. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis.

Fierer, N. & Jackson, R.B., 2006. The diversity and biogeography of soil bacterial communities. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America 103, 626-631.

Fricker, C.R., 2003. The presence of bacteria in water after regrowth. World Health Organization, 49-58.

Gadd, G. M., 2004. Microbial influence on metal mobility and application for bioremediation. *Geoderma* 122, 109-119.

Gadd, G. M., Raven, J. A., 2010. Geomicrobiology of eukaryotic micro-organisms. *Geomicrobiology J* (in press).

Gadd, G.M. & Griffiths, A.J., 1978. Microorganisms and heavy metal toxicity. *Microbiological Ecology* 4, 303-317.

Gadd, G.M., 2009. Heavy metal pollutants: environmental and biotechnological aspects. In *encyclopedia of microbiology*. p. 321-334. Edited by M. Schaechter. Oxford: Elsevier.

Geologian tutkimuskeskus, 1996. Suomen geokemian atlas, osa 3: Ympäristögeokemia – purovedet ja sedimentit.

Giacometti, C., Demyan, M.S., Cavani, L., Marzadori, C., Ciavatta, C., Kandeler, E., 2013. Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems. *Applied soil ecology*, 64, 32-48.

Green, J.L., Bohannon, B.J.M., Whitaker, R.J., 2008. Microbial biogeography: from taxonomy to traits. *Science* 320, 1039-1043.

Heijden M., Bardgett R., Straalen N., 2008. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology letters* (2008) 11: 296-310.

Hochella, M.F., 2002. Sustaining earth: thoughts on the present and future roles in mineralogy in environmental science. *Mineralogical Magazine* 66, 627-652.

Hyvönen S., Suanto M., Luhta P.-J., Yrjänä T., Moilanen E., 2005. Puroinventoinnit Iijoen valuma-alueella vuosina 1998-2003.

Hyvönen S., Suanto M., Luhta P.-L., Yrjänä T., Moilanen E., 2005. Puroinventoinnit Iijoen valuma-alueella vuosina 1998-2003. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, s. 18-61.

Hämäläinen L., 2015. Pintavesien suojele- ja kunnostusstrategia. Ympäristöministeriö. YMPÄRISTÖMINISTERIÖN RAPORTTEJA 27 | 2015

Institute for quality and efficiency in health care, 2019. What are microbes? [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279387/> [viitattu 18.4.2019].

Jansson R., Laudon H., Johansson E., Augspurger C. 2007: The importance of groundwater discharge for plant species number in riparian zone. *January* 88(1), 131-9.

Jones, E.B.D., Helfman, G.S., Harper, J.O., Bolstad, P.V., 1999. Effects of riparian forest removal on fish assemblages in southern Appalachian streams. *Conservation biology* 13, 1454-1465.

Kenttämies K, Mattsson T., 2006. Metsätalouden vesistökuormitus. MESUVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristökeskus, s. 42-63.

Kim, S-Y., Lee, S-H., Freeman, C., Fenner, N., Kang, H., 2008. Comparative analysis of soil microbial communities and their responses to the short-term drought in bog, fen, and riparian wetlands. *Soil biology and biochemistry* 40, 2874-2880.

Kuglerova L., Dynesius M., Laudon H. & Jansson R., 2016. Relationships between plant assemblages and water flow across a boreal forest landscape: a comparison of liverworts, mosses, and vascular plants. *Ecosystems* 19(1), 170-184.

Kuglerova L., Ågren A., Jansson R., Laudon H., 2014. Towards optimizing riparian buffer zones: Ecological and biochemical implications for forest management. *Forest Ecology and Management* 334, 74-84.

Kullberg A., Bishop K.H., Hargeby A., Jansson M., Petersen R.C., 1993. Ecological significance of dissolved organic carbon in acidified waters. *Ambio* 22 (5), 331-337.

Laaksonen, R. & Malin, V., 1985. Regional water quality of Finland 1965-1985. *Aqua Fennica* 15, 201-209.

Lauber, C.L., Hamady, M., Knight, R., Fierer N., 2009. Pyrosequencing-based assessment of soil pH as a predictor of soil bacterial community structure at the continental scale. *Applied Environmental Microbiology*. 75, 5111-5120.

Lehtinen M., Nurmi P., Rämö T. (toim.), 1998. Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa. s. 94-248.

Lowrance, R., Todd, R., Fail, J., Hendrickson, O., Leonard, R., Asmussen, L., 1984. Riparian forests as nutrient filters in agricultural watersheds. *BioScience* vol. 34:6, 374-377.

Lowy, F. 2019. *Bacterial Classification, Structure and Function*. Columbia University, 2-8.

Martiny, J.B.H., Bohannan, B.J.M., Brown, J.H., Colwell, R.K., Fuhrman J.A., Green J.L., Horner-Devine, M.C., Kane, M., Krumins, J.A., Kuske, C.R., Morin, P.J., Naeem, S., Ovreas, L., Reysenbach, A.L., Smith, V.H., Staley, J.T., 2006. Microbial biogeography: putting microorganisms on the map. *Nature Reviews Microbiology*. 4, 102-112.

McCaig, A.E., Glover, L.A., Prosser, J.I., 2001. Numerical analysis of grassland bacterial community structure under different land management regimens by using 16S

ribosomal DNA sequence data and denaturing gradient gel electrophoresis banding patterns. *Applied Environmental Microbiology* 67, 4554-4559.

Mittal, A., 2011. Biological wastewater treatment. *Water today* 8/2011. s. 32-44.

Huang, P-M., Wang, M-K., Chiu, C-Y., 2005. Soil mineral-organic matter-microbe interactions: impacts on biogeochemical processes and biodiversity in soils.

Pedobiologia (Jena) 49, 609-635.

Naiman R.J. & Decamps H., 1997. The Ecology of Interfaces: Riparian Zones. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28, 621-658.

Naiman, R.J, Fetherston, K.L., McKay, S.J., Chen, J., 1998. Ecology and management of streams and rivers in the pacific northwest coastal ecoregion. Chapter: Riparian forests – 12. Publisher: Springer-Verlag. s. 289-323.

Nilsson C., Brown R., Jansson R. & Merritt D., 2010. The role of hydrochory in structuring riparian and wetland vegetation. *Biological Reviews* 85, 837–858.

Nironen M., 1998. Proterotsooiset orogeeniset syväkivet – vuorijononmuodostuksen hornankattila. Teoksessa: Lehtinen, M., Nurmi, P. ja Rämö, T. (toim.), 3000 vuosimiljoonaa Suomen kallioperä. Suomen Geologinen Seura, s. 229-253.

Oksanen J., Blanchet G., Friendly M., Kindt R., Legendre P., McGlinn D., Minchin P., O'Hara R.B., Simpson G., Henry M., Stevens H., Szoecs E & Wagner H., 2019. *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5.4. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

Petäjä-Ronkainen A., Roman S., Holappa K., 1995. Fysikaalisen maaperägeologian laboratorio- ja kenttäkurssi. *Res Terrae*, Ser. C, No. 6, Oulu, 1995.

R. Core Team, 2018. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

- Ramette, A. & Tiedje, J.M., 2007. Biogeography: an emerging cornerstone for understanding prokaryotic diversity, ecology, and evolution. *Microbiological Ecology*. 53, 197-207.
- Rivenbark, B.L. & Jackson, C.R., 2004. Concentrated flow breakthroughs moving through silvicultural streamside management zones: southeastern piedmont, USA. *Journal of the American water resources association* 40, 1043-1052.
- Sabo J., Sponseller R., Dixon M., Gade K., Harms T., Heffernan J., Jani A., Katz G., Soykan C., Watts J., Welter J., 2005. Riparian zones increase regional species richness by harboring different, not more, species. *Ecology* 86(1), 56-62.
- Salonen V-P., Eronen M., Saarnisto M., 2002. Käytännön maaperägeologia. Turku: Kirja-Aurora, 54-173.
- Silva, C.C., Guido, M.L., Ceballos, J.M., Marsch, R., Dendooven, L., 2008. Production of carbon dioxide and nitrous oxide in alkaline saline soil on Texcoco at different water contents amended with urea: A laboratory study. *Soil biology and biochemistry* 40, 1813-1822.
- Singh, B.K., Munro, S., Reid, B. Ord, B., Potts, J.M., Paterson, E., Millard, P., 2006. Investigating microbial community structure in soils by physiological, biochemical and molecular fingerprinting methods. *Eur. J. Soil Science*. 57, 72-82.
- Sparks, D. L., 2005. Toxic metals in the environment: the role of surfaces. *Elements* 1, 193-196.
- Swank, W.T., Vose, J.M. & Elliot, K.J., 2001. Long-term hydrologic and water quality responses following commercial clearcutting of mixed hardwoods on a southern Appalachian catchment. *Forest ecology and management* 143, 1-3.
- Vannote R., Minshall W., Cummins K., Sedell J., Cushing C., 1980. The River Continuum Concept. *Can. J. Fish. Aquatic Science*. 37: 130-137.

Vesiläki 2011/587. Annettu Helsingissä 27.5.2011

Violante, A., Huang P.M. & Gadd, G.M. (toim.), 2008. Biophysico-chemical processes of heavy metals and metalloids in soil environments. John Wiley & Sons Inc., Hoboken, NJ. s. 163-166.

LIITE 1. Tutkimusnäytteiden raekokoseulontojen tulokset (1/4)

SAA 2A	seula		jäi	läpäisi
	mm	g	p-%	y-%
64				
32				
16				
8				
4,00				
2,00	0,00	0,00 %	100,00 %	
1,00	0,30	0,20 %	99,80 %	
0,500	2,940	1,97 %	97,83 %	
0,250	40,250	27,0 %	70,83 %	
0,125	86,860	58,26 %	12,58 %	
0,063	17,140	11,50 %	1,08 %	
pohja	0,020	1,610	1,08 %	
	0,010			
	-0.010			

yht 149,10

SAA 3A	seula		jäi	läpäisi
	mm	g	p-%	y-%
64				
32				
16				
8				
4,00				100,00 %
2,00	0,09	0,07 %	99,93 %	
1,00	0,58	0,46 %	99,47 %	
0,500	0,940	0,75 %	98,72 %	
0,250	15,340	12,2 %	86,56 %	
0,125	82,060	65,07 %	21,50 %	
0,063	24,830	19,69 %	1,81 %	
pohja	0,020	2,280	1,81 %	
	0,010			
	-0.010			

yht 126,12

SAA 3D	seula		jäi	läpäisi
	mm	g	p-%	y-%
64				
32				
16				
8				
4,00				100,00 %
2,00	3,92	3,13 %	96,87 %	
1,00	9,93	7,92 %	88,96 %	
0,500	23,420	18,67 %	70,28 %	
0,250	38,460	30,7 %	39,61 %	
0,125	34,150	27,23 %	12,38 %	
0,063	9,850	7,85 %	4,53 %	
pohja	0,020	5,680	4,53 %	
	0,010			
	-0.010			

yht 125,41

HAU 4D	seula		jäi	läpäisi
	mm	g	p-%	y-%
64				
32				
16				
8				
4,00				100,00 %
2,00	4,81	3,58 %	96,42 %	
1,00	6,92	5,15 %	91,26 %	
0,500	16,320	12,16 %	79,10 %	
0,250	25,980	19,4 %	59,75 %	
0,125	29,990	22,34 %	37,41 %	
0,063	23,000	17,13 %	20,28 %	
pohja	0,020	27,220	20,28 %	
	0,010			
	-0.010			

yht 134,24

LIITE 1. Tutkimusnäytteiden raekokoseulontojen tulokset (2/4)

	HAA 3D		seula	jäi	läpäisi
	mm		g	p-%	y-%
	64				
	32				
	16				
	8				
	4,00				100,00 %
	2,00		2,63	2,07 %	97,93 %
	1,00		7,38	5,80 %	92,13 %
	0,500		29,790	23,41 %	68,72 %
	0,250		48,200	37,9 %	30,84 %
	0,125		21,980	17,27 %	13,56 %
	0,063		9,450	7,43 %	6,14 %
pohja	0,020		7,810	6,14 %	
	0,010				
	-0.010				

yht 127,24

	KOI 2D		seula	jäi	läpäisi
	mm		g	p-%	y-%
	64				
	32				
	16				
	8				
	4,00				100,00 %
	2,00		13,95	11,57 %	88,43 %
	1,00		18,49	15,34 %	73,08 %
	0,500		26,920	22,34 %	50,75 %
	0,250		25,000	20,7 %	30,00 %
	0,125		16,690	13,85 %	16,15 %
	0,063		10,520	8,73 %	7,43 %
pohja	0,020		8,950	7,43 %	
	0,010				
	-0.010				

yht 120,52

	HAA 2D		seula	jäi	läpäisi
	mm		g	p-%	y-%
	64				
	32				
	16				
	8				
	4,00				100,00 %
	2,00		1,77	1,43 %	98,57 %
	1,00		3,74	3,01 %	95,56 %
	0,500		5,040	4,06 %	91,51 %
	0,250		19,630	15,8 %	75,70 %
	0,125		37,520	30,21 %	45,49 %
	0,063		34,290	27,61 %	17,88 %
pohja	0,020		22,210	17,88 %	
	0,010				
	-0.010				

yht 124,20

	HAU 3D		seula	jäi	läpäisi
	mm		g	p-%	y-%
	64				
	32				
	16				
	8				
	4,00				
	2,00				
	1,00		0,00	0,00 %	100,00 %
	0,500		7,670	7,08 %	92,92 %
	0,250		12,170	11,2 %	81,70 %
	0,125		11,050	10,19 %	71,50 %
	0,063		24,000	22,14 %	49,36 %
pohja	0,020		53,510	49,36 %	
	0,010				
	-0.010				

yht 108,40

LIITE 1. Tutkimusnäytteiden raekokoseulontojen tulokset (3/4)

	HAU 3A	seula	jäi	läpäisi
	mm	g	p-%	y-%
	64			
	32			
	16			
	8			
	4,00			
	2,00			
	1,00	0,00	0,00 %	100,00 %
	0,500	4,620	3,40 %	96,60 %
	0,250	38,860	28,6 %	67,98 %
	0,125	46,820	34,47 %	33,51 %
	0,063	29,580	21,78 %	11,73 %
pohja	0,020	15,930	11,73 %	
	0,010			
	-0.010			

yht 135,81

HAU 4A	seula	jäi	läpäisi
mm	g	p-%	y-%
64			
32			
16			
8			
4,00			100,00 %
2,00	2,71	2,40 %	97,60 %
1,00	10,74	9,52 %	88,08 %
0,500	29,670	26,29 %	61,80 %
0,250	22,550	20,0 %	41,82 %
0,125	19,030	16,86 %	24,96 %
0,063	14,460	12,81 %	12,15 %
0,020	13,710	12,15 %	
0,010			
-0.010			

yht 112,87

	HAA 2A	seula	jäi	läpäisi
	mm	g	p-%	y-%
	64			
	32			
	16			
	8			
	4,00			100,00 %
	2,00	0,15	0,19 %	99,81 %
	1,00	0,86	1,09 %	98,72 %
	0,500	7,220	9,16 %	89,56 %
	0,250	27,500	34,9 %	54,68 %
	0,125	24,150	30,64 %	24,04 %
	0,063	12,260	15,55 %	8,49 %
pohja	0,020	6,690	8,49 %	
	0,010			
	-0.010			

yht 78,83

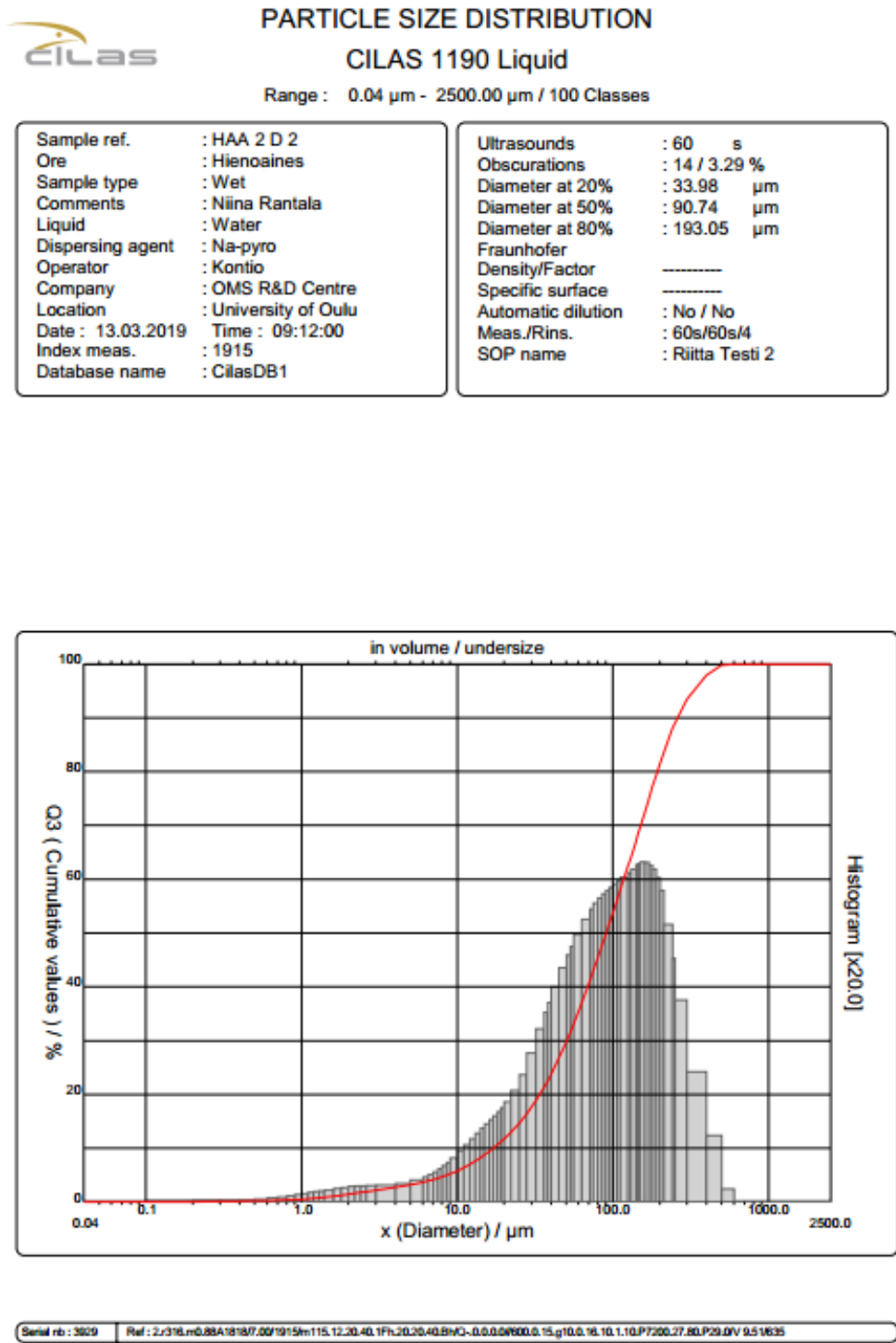
	SAA 2D	seula	jäi	läpäisi
	mm	g	p-%	y-%
	64			
	32			
	16			
	8			
	4,00			100,00 %
	2,00	5,38	4,41 %	95,59 %
	1,00	2,72	2,23 %	93,37 %
	0,500	3,490	2,86 %	90,51 %
	0,250	7,470	6,1 %	84,39 %
	0,125	39,010	31,95 %	52,43 %
	0,063	52,350	42,88 %	9,55 %
pohja	0,020	11,660	9,55 %	
	0,010			
	-0.010			

yht 122,08

LIITE 1. Tutkimusnäytteiden raekokoseulontojen tulokset (4/4)

	LAM 3D	seula	jäi	läpäisi	
	mm	g	p-%	y-%	
pohja	64				
	32				
	16				
	8				
	4,00				
	2,00	0,00	0,00 %	100,00 %	
	1,00	0,33	0,26 %	99,74 %	
	0,500	0,450	0,35 %	99,39 %	
	0,250	12,790	10,0 %	89,40 %	
	0,125	59,770	46,68 %	42,72 %	
	0,063	42,200	32,96 %	9,76 %	
	0,020	12,500	9,76 %		
	0,010				
	-0.010				
	yht	128,04			

LIITE 2. Partikkelianalysaattori Anton Paar raekokoanalyysi HAA2D (1/2)



LIITE 2. Partikkelianalysaattori Anton Paar raekokoanalyysi HAA2D (2/2)



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1190 Liquid

Range : 0.04 µm - 2500.00 µm / 100 Classes

Sample ref. : HAA 2 D 2
 Ore : Hienoaimes
 Sample type : Wet
 Comments : Niina Rantala
 Liquid : Water
 Dispersing agent : Na-pyro
 Operator : Kontio
 Company : OMS R&D Centre
 Location : University of Oulu
 Date : 13.03.2019 Time : 09:12:00
 Index meas. : 1915
 Database name : CilasDB1

Ultrasounds : 60 s
 Obscurements : 14 / 3.29 %
 Diameter at 20% : 33.98 µm
 Diameter at 50% : 90.74 µm
 Diameter at 80% : 193.05 µm
 Fraunhofer
 Density/Factor : -----
 Specific surface : -----
 Automatic dilution : No / No
 Meas./Rins. : 60s/60s/4
 SOP name : Riitta Testi 2

Standards classes

in volume / undersize

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.00	0.00	0.00	0.07	0.12	0.16	0.20	0.24	0.30	0.37
q3	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	0.45	0.54	0.63	0.72	0.81	0.91	1.09	1.27	1.45	1.62
q3	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14
x	2.40	2.60	3.00	4.00	5.00	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
Q3	1.78	1.93	2.20	2.76	3.24	3.71	3.95	4.19	4.44	4.69
q3	0.14	0.14	0.15	0.15	0.17	0.20	0.23	0.25	0.27	0.30
x	8.50	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
Q3	4.95	5.22	5.78	6.36	6.95	7.56	8.17	8.78	9.38	9.98
q3	0.33	0.36	0.41	0.47	0.53	0.58	0.63	0.68	0.72	0.76
x	18.00	19.00	20.00	22.00	25.00	28.00	32.00	36.00	38.00	40.00
Q3	10.58	11.16	11.74	12.89	14.61	16.35	18.75	21.20	22.44	23.68
q3	0.80	0.83	0.87	0.92	1.03	1.18	1.38	1.60	1.76	1.85
x	45.00	50.00	53.00	56.00	63.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00
Q3	26.74	29.72	31.46	33.16	36.98	41.07	43.01	45.34	47.56	49.69
q3	1.99	2.17	2.29	2.37	2.48	2.62	2.71	2.77	2.82	2.86
x	95.00	100.0	106.0	112.0	125.0	130.0	140.0	145.0	150.0	160.0
Q3	51.73	53.68	55.92	58.05	62.37	63.93	66.91	68.34	69.73	72.38
q3	2.89	2.92	2.95	2.97	3.01	3.06	3.09	3.13	3.14	3.15
x	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	242.0	250.0	300.0	400.0	500.0
Q3	74.87	77.20	79.38	81.39	83.58	88.02	88.98	93.43	97.94	99.72
q3	3.15	3.12	3.09	3.01	2.89	2.57	2.26	1.87	1.20	0.61
x	600.0	700.0	800.0	900.0	1000.0	1100.0	1200.0	1300.0	1400.0	1500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	1600.0	1700.0	1800.0	1900.0	2000.0	2100.0	2200.0	2300.0	2400.0	2500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diameter / µm Q3 : cumulative value / % q3 : density distribution

LIITE 3. Partikkelianalysaattori Anton Paar raekokoanalyysi HAA3D (1/2)



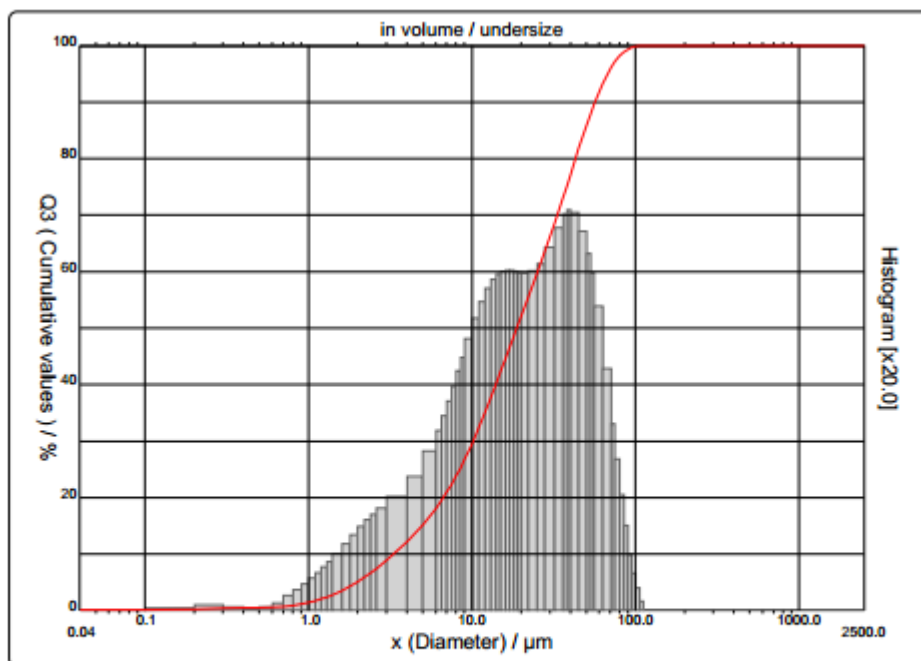
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1190 Liquid

Range : 0.04 μm - 2500.00 μm / 100 Classes

Sample ref. : HAA 3 D 2
 Ore : Hienoaines
 Sample type : Wet
 Comments : Niina Rantala
 Liquid : Water
 Dispersing agent : Na-pyro
 Operator : Kontio
 Company : OMS R&D Centre
 Location : University of Oulu
 Date : 13.03.2019 Time : 09:30:59
 Index meas. : 1917
 Database name : CilasDB1

Ultrasounds : 60 s
 Obscurations : 15 / 0.21 %
 Diameter at 20% : 6.68 μm
 Diameter at 50% : 18.80 μm
 Diameter at 80% : 43.03 μm
 Fraunhofer
 Density/Factor : -----
 Specific surface : -----
 Automatic dilution : No / No
 Meas./Rins. : 60s/60s/4
 SOP name : Riitta Testi 2



Serial nb: 3829 Ref: 2.r316.m0.88A18187.001917m115.12.20.40.1Fh.30.20.40.8hVO-0.0.0.00600.0.15.g10.0.16.10.1.10.P7200.27.80.P29.0V 9.51635

LIITE 3. Partikkelianalysaattori Anton Paar raekokoanalyysi HAA3D (2/2)



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1190 Liquid

Range : 0.04 µm - 2500.00 µm / 100 Classes

Sample ref. : HAA 3 D 2
 Ore : Hienoaines
 Sample type : Wet
 Comments : Niina Rantala
 Liquid : Water
 Dispersing agent : Na-pyro
 Operator : Kontio
 Company : OMS R&D Centre
 Location : University of Oulu
 Date : 13.03.2019 Time : 09:30:59
 Index meas. : 1917
 Database name : CilasDB1

Ultrasounds : 60 s
 Obscurations : 15 / 0.21 %
 Diameter at 20% : 6.68 µm
 Diameter at 50% : 18.80 µm
 Diameter at 80% : 43.03 µm
 Fraunhofer
 Density/Factor : -----
 Specific surface : -----
 Automatic dilution : No / No
 Meas./Rins. : 60s/60s/4
 SOP name : Riitta Testi 2

Standards classes

in volume / undersize

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.11	0.11	0.12	0.25	0.44	0.53	0.56	0.62	0.72	0.92
q3	0.01	0.00	0.00	0.02	0.04	0.03	0.01	0.03	0.06	0.13
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	1.16	1.43	1.74	2.06	2.40	2.76	3.51	4.29	5.08	5.88
q3	0.18	0.23	0.28	0.33	0.38	0.43	0.50	0.58	0.66	0.74
x	2.40	2.60	3.00	4.00	5.00	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
Q3	6.66	7.43	8.89	12.15	15.14	18.04	19.47	20.91	22.35	23.79
q3	0.80	0.85	0.90	1.00	1.18	1.41	1.59	1.72	1.85	1.98
x	8.50	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
Q3	25.24	26.69	29.54	32.32	35.00	37.58	40.03	42.35	44.53	46.59
q3	2.12	2.24	2.40	2.58	2.73	2.84	2.92	2.97	2.99	3.00
x	18.00	19.00	20.00	22.00	25.00	28.00	32.00	36.00	38.00	40.00
Q3	48.53	50.36	52.09	55.30	59.64	63.56	68.40	72.90	75.04	77.10
q3	3.00	2.99	2.98	2.98	3.00	3.07	3.21	3.38	3.50	3.54
x	45.00	50.00	53.00	56.00	63.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00
Q3	81.78	85.77	87.84	89.70	93.28	96.16	97.18	98.16	98.86	99.34
q3	3.52	3.35	3.15	2.99	2.69	2.14	1.65	1.33	1.02	0.75
x	95.00	100.0	106.0	112.0	125.0	130.0	140.0	145.0	150.0	160.0
Q3	99.64	99.83	99.95	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.49	0.32	0.19	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	242.0	250.0	300.0	400.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	600.0	700.0	800.0	900.0	1000.0	1100.0	1200.0	1300.0	1400.0	1500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	1600.0	1700.0	1800.0	1900.0	2000.0	2100.0	2200.0	2300.0	2400.0	2500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diameter / µm Q3 : cumulative value / % q3 : density distribution

Serial nb : 3629 Ref : 2.r316.m0.85A18197.001917m115.12.20.40.1Fh.20.20.40.8hVQ-0.0.0.0/600.0.15g10.0.16.10.1.10.P7200.27.80.P29.0V 9.51/635

LIITE 4. Partikkelianalysaattori Anton Paar raekokoanalyysi HAU4D (1/2)

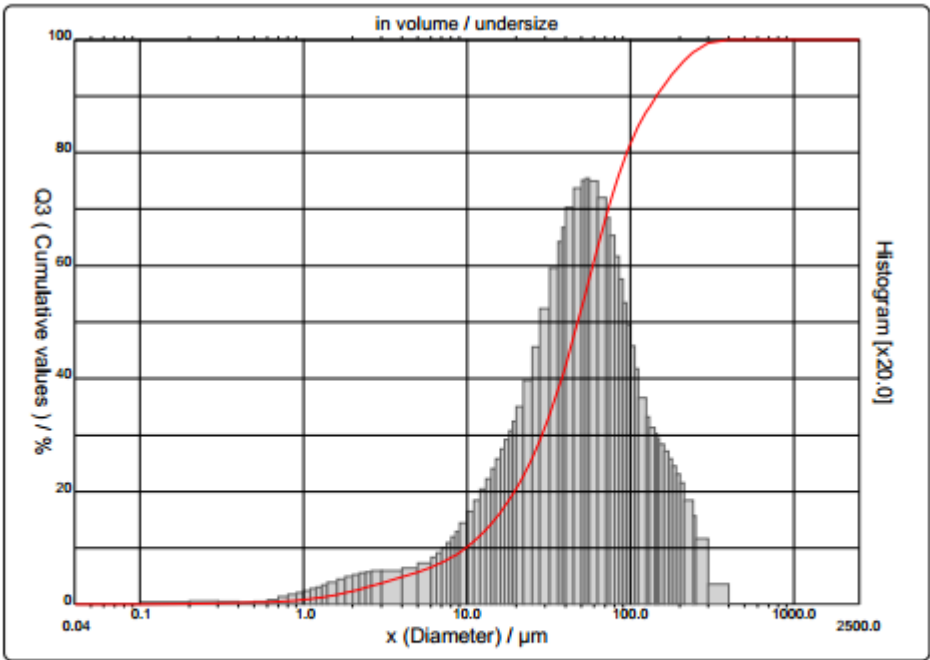


PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1190 Liquid

Range : 0.04 µm - 2500.00 µm / 100 Classes

Sample ref.	: HAU 4 D 2	Ultrasounds	: 60 s
Ore	: Hienoaines	Obscurations	: 14 / 1.70 %
Sample type	: Wet	Diameter at 20%	: 19.53 µm
Comments	: Niina Rantala	Diameter at 50%	: 47.60 µm
Liquid	: Water	Diameter at 80%	: 95.31 µm
Dispersing agent	: Na-pyro	Fraunhofer	
Operator	: Kontio	Density/Factor	-----
Company	: OMS R&D Centre	Specific surface	-----
Location	: University of Oulu	Automatic dilution	: No / No
Date : 13.03.2019	Time : 09:50:35	Meas./Rins.	: 60s/60s/4
Index meas.	: 1919	SOP name	: Riitta Testi 2
Database name	: CilasDB1		



LIITE 4. Partikkelianalysaattori Anton Paar raekokoanalyysi HAU4D (2/2)



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1190 Liquid

Range : 0.04 µm - 2500.00 µm / 100 Classes

Sample ref.	: HAU 4 D 2	Ultrasounds	: 60 s
Ore	: Hienoaines	Obscurations	: 14 / 1.70 %
Sample type	: Wet	Diameter at 20%	: 19.53 µm
Comments	: Niina Rantala	Diameter at 50%	: 47.60 µm
Liquid	: Water	Diameter at 80%	: 95.31 µm
Dispersing agent	: Na-pyro	Fraunhofer	
Operator	: Kontio	Density/Factor	-----
Company	: OMS R&D Centre	Specific surface	-----
Location	: University of Oulu	Automatic dilution	: No / No
Date : 13.03.2019	Time : 09:50:35	Meas./Rins.	: 60s/60s/4
Index meas.	: 1919	SOP name	: Riitta Testi 2
Database name	: CilasDB1		

Standards classes					in volume / undersize					
x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.00	0.00	0.00	0.13	0.26	0.34	0.37	0.42	0.49	0.59
q3	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.04	0.06
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	0.71	0.85	0.98	1.13	1.28	1.44	1.75	2.07	2.39	2.70
q3	0.08	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.19	0.21	0.24	0.26
x	2.40	2.60	3.00	4.00	5.00	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00
Q3	3.00	3.29	3.81	4.87	5.75	6.59	7.01	7.43	7.86	8.30
q3	0.27	0.28	0.29	0.29	0.31	0.36	0.41	0.45	0.49	0.54
x	8.50	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
Q3	8.75	9.22	10.17	11.15	12.16	13.18	14.22	15.26	16.31	17.35
q3	0.59	0.64	0.72	0.82	0.92	1.01	1.11	1.20	1.28	1.37
x	18.00	19.00	20.00	22.00	25.00	28.00	32.00	36.00	38.00	40.00
Q3	18.40	19.44	20.49	22.59	25.78	29.02	33.43	37.85	40.03	42.19
q3	1.45	1.53	1.62	1.75	1.98	2.27	2.61	2.97	3.20	3.33
x	45.00	50.00	53.00	56.00	63.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00
Q3	47.39	52.29	55.04	57.66	63.22	68.64	71.01	73.66	76.01	78.08
q3	3.50	3.68	3.75	3.76	3.74	3.60	3.42	3.26	3.07	2.87
x	95.00	100.0	106.0	112.0	125.0	130.0	140.0	145.0	150.0	160.0
Q3	79.90	81.50	83.18	84.62	87.15	87.97	89.43	90.09	90.72	91.87
q3	2.66	2.47	2.28	2.08	1.82	1.65	1.56	1.51	1.47	1.42
x	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	242.0	250.0	300.0	400.0	500.0
Q3	92.91	93.83	94.66	95.41	96.19	97.72	98.04	99.37	100.00	100.00
q3	1.35	1.28	1.22	1.15	1.07	0.92	0.78	0.58	0.17	0.00
x	600.0	700.0	800.0	900.0	1000.0	1100.0	1200.0	1300.0	1400.0	1500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	1600.0	1700.0	1800.0	1900.0	2000.0	2100.0	2200.0	2300.0	2400.0	2500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diameter / µm Q3 : cumulative value / % q3 : density distribution

LIITE 5. Tutkimuspurojen tutkimuslinjojen näytteiden analyysitulokset.

		Ca mg/g	Mg mg/g	K mg/g	P mg/g	N mg/g	Johtokyky μS/cm	pH	TOC	lampö- summa	lampö- vaihtelu	Kosteus	HH%	Maalaji
HAA1A	dry	11,878	1,529	1,971	0,076	0,069	79,60	4,4	46,0	1068,02	1,94	18,41	NA	NA
HAA1D	dry	2,258	0,535	1,398	0,020	0,014	48,60	3,7	30,0	1019,08	1,99	33,11	NA	NA
HAA2A	wet	2,752	0,451	0,699	0,003	0,010	50,00	4,2	6,6	1181,60	2,06	43,79	10,08	Sand
HAA2D	wet	2,352	0,458	0,643	0,005	0,011	51,40	4,0	6,2	1015,94	1,83	32,61	11,43	NA
HAA3A	dry	7,423	1,014	0,937	0,014	0,020	48,90	4,5	22,0	1069,89	1,95	84,16	35,71	NA
HAA3D	dry	1,826	0,289	0,904	0,016	0,006	38,60	3,8	14,0	1021,01	2,55	23,31	1,42	Sand
HAA4A	wet	3,069	0,493	0,984	0,005	0,018	64,10	4,3	7,7	1137,38	3,28	49,73	NA	NA
HAA4D	wet	7,787	1,151	1,188	0,004	0,029	87,90	4,8	52,0	1029,47	2,20	49,68	NA	NA
HAU1A	dry	1,505	0,548	0,787	0,004	0,005	77,80	3,8	14,0	982,95	2,20	17,64	NA	NA
HAU1D	dry	0,952	0,728	0,638	0,002	0,003	28,08	3,9	5,7	917,61	3,19	33,29	NA	NA
HAU2A	wet	5,675	0,650	0,763	0,009	0,029	53,60	4,6	13,0	1076,19	2,39	28,88	NA	NA
HAU2D	wet	0,249	0,146	0,377	0,002	0,003	22,11	4,0	3,7	905,12	1,55	28,17	NA	NA
HAU3A	wet	0,293	0,457	0,481	0,003	0,005	38,60	4,2	4,7	1058,85	1,41	65,21	11,88	Sand
HAU3D	wet	0,954	0,527	0,723	0,005	0,003	32,70	3,9	5,9	917,69	1,81	21,41	13,02	NA
HAU4A	dry	7,786	1,264	0,964	0,008	0,011	54,80	4,0	17,0	1077,19	2,08	22,47	10,59	Sand
HAU4D	dry	1,136	0,321	0,572	0,003	0,003	36,70	3,8	5,9	976,48	2,35	29,55	6,37	NA
JOU1A	dry	3,101	1,528	0,932	0,007	0,008	66,50	4,2	40,0	871,67	2,82	73,91	68,27	NA
JOU1D	dry	1,063	0,780	1,118	0,019	0,004	80,00	3,6	55,0	1020,04	2,76	19,33	95,39	NA
JOU2A	dry	0,194	0,114	0,262	0,002	0,006	16,27	4,6	7,3	1083,67	3,09	73,15	NA	NA
JOU2D	dry	3,541	1,618	1,912	0,017	0,014	66,20	3,9	41,0	1070,25	5,20	29,31	NA	NA
JOU3A	wet	3,522	0,951	0,319	0,003	0,004	23,60	4,5	18,0	1102,53	2,58	59,40	NA	NA
JOU3D	wet	2,116	0,508	0,355	0,004	0,003	45,00	4,0	49,0	1126,02	2,88	54,91	NA	NA
JOU4A	wet	3,583	1,065	0,554	0,002	0,005	43,50	4,8	13,0	1103,37	3,09	60,60	21,24	NA
JOU4D	wet	4,105	0,894	0,770	0,004	0,004	52,60	4,5	50,0	1081,75	1,84	48,80	92,55	NA
KOI1A	dry	13,807	3,132	0,626	0,001	0,028	37,30	5,6	21,0	980,36	2,66	42,88	54,00	NA
KOI1D	dry	2,678	1,435	1,195	0,008	0,012	48,10	3,8	29,0	892,23	2,50	21,43	29,80	NA
KOI2A	wet	1,581	0,783	0,545	0,004	0,015	25,25	4,3	15,0	1017,03	2,52	70,30	18,64	Sand
KOI2D	wet	3,335	0,758	1,307	0,007	0,016	64,30	3,7	22,0	903,07	2,86	57,82	16,02	Sand
KOI3A	wet	1,050	0,546	0,772	0,005	0,008	36,70	4,3	30,0	979,32	2,99	70,11	NA	NA
KOI3D	wet	0,697	0,566	0,713	0,013	0,011	46,50	3,8	51,0	997,70	3,44	66,14	NA	NA
KOI4A	dry	0,369	0,424	0,597	0,004	0,014	36,00	4,2	8,0	1040,17	2,63	40,91	NA	NA
KOI4D	dry	0,274	0,185	0,722	0,003	0,004	57,30	3,7	14,0	986,04	2,51	18,55	NA	NA
LAM1A	wet	0,829	0,363	0,660	0,002	0,004	50,80	4,0	9,2	1184,10	2,18	33,61	NA	NA
LAM1D	wet	1,114	0,522	0,355	0,002	0,012	17,74	4,6	18,0	995,63	2,40	67,68	NA	NA
LAM2A	wet	0,570	0,286	0,495	0,002	0,009	36,10	4,2	11,0	1165,45	2,33	44,67	23,48	NA
LAM2D	wet	1,001	0,390	0,315	0,002	0,009	18,77	4,5	30,0	996,78	2,26	62,48	56,13	NA
LAM3A	dry	0,309	0,330	0,461	0,003	0,007	33,60	4,1	15,0	1078,72	2,30	69,27	35,56	NA
LAM3D	dry	2,441	0,465	1,762	0,034	0,008	66,70	3,6	17,0	953,22	2,48	18,89	3,20	Sand
LAM4A	dry	0,317	0,317	0,540	0,002	0,008	33,50	4,1	15,0	1043,61	1,43	49,97	NA	NA
LAM4D	dry	0,915	0,338	1,039	0,022	0,007	45,90	3,7	38,0	967,64	2,29	28,43	NA	NA
SAA1A	wet	3,046	0,881	0,806	0,011	0,012	55,80	4,0	18,0	1074,24	1,75	51,35	NA	NA
SAA1D	wet	1,356	0,325	0,704	0,010	0,007	34,80	3,8	36,0	1000,66	3,03	43,83	NA	NA
SAA2A	wet	2,271	0,675	1,013	0,008	0,010	58,60	4,0	11,0	1052,87	1,88	49,43	4,79	Sand
SAA2D	wet	1,378	0,404	0,699	0,011	0,008	39,00	3,9	20,0	993,51	2,33	35,87	4,29	Sand
SAA3A	dry	2,407	1,129	1,053	0,009	0,008	58,30	3,7	16,0	1055,83	2,54	24,47	5,67	Sand
SAA3D	dry	0,861	0,173	0,816	0,017	0,004	37,00	3,7	20,0	1017,50	2,43	20,97	3,09	Sand
SAA4A	dry	5,723	1,014	0,941	0,007	0,015	63,30	4,2	9,5	1046,53	2,74	31,49	NA	NA
SAA4D	dry	1,275	0,308	1,140	0,026	0,007	48,30	3,7	20,0	1032,85	3,38	22,43	NA	NA